

ELABORACIÓN DE ENMIENDAS Y DE SUSTRATOS CON FINES PRODUCTIVOS Y DIDÁCTICOS EN UNA PLANTA DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES URBANOS EN LA UNC

Ringuelet Ariel^{(a)*}; A. Rollán^(a); J. Koritschoner^(a); V. Blarduni^(b) y L. Vargas^(a,c)

^(a) Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av Valparaíso s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. ^(b) Ing. Agr. Independiente. ^(c) Coordinadora del Programa de Gestión de áreas Verdes (ProGAV), Subsecretaría Planeamiento Físico-UNC
*aringuel@agro.unc.edu.ar

RESUMEN

En la Ciudad Universitaria de Córdoba, Argentina, se reciclan los residuos orgánicos del mantenimiento de áreas verdes desde el año 2012, y de comedores desde el año 2015. Los primeros (Chip) se trozan y se estiban durante varios meses. Los residuos orgánicos (Vegetales) se mezclan con Chip, en relación 1:2 v/v, y se compostan. Este reciclaje reduce costos económicos y ambientales, genera productos de valor y sirve como material didáctico para estudiantes de Jardinería y Floricultura de la FCA-UNC. La caracterización química, física y de madurez de los dos productos obtenidos, muestra que se obtiene un producto de buena calidad agronómica, pero para diferentes usos. Ambos poseen bajo contenido salino y pH alcalino. Las características físicas son similares, excepto la granulometría, más fina en compost. De acuerdo a los datos obtenidos el compost (Chip + Vegetales) se considera apto para sustrato. El Chip solo podría utilizarse en proporciones más diluidas, como enmienda. Se sugieren acciones para mejorar la eficiencia.

Palabras clave: Compost, compostaje, sustrato, enmienda, abono orgánico

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de la ciudad de Córdoba, Argentina, genera unas 1200 toneladas diarias de residuos, de los cuales se recicla menos del 2% (Municipalidad de Córdoba, 2019) y la gran mayoría son transportados a rellenos sanitarios. Los residuos orgánicos pueden ser un potencial abono o enmienda. En la Ciudad Universitaria de Córdoba (UNC), Argentina, en el año 2012 se comenzaron a reciclar los residuos orgánicos vegetales de poda de su campus, en el marco del Programa de Gestión de Áreas Verdes (ProGAV) de la UNC. Con el propósito de utilizar estos residuos como mejorador de los suelos (enmienda) de dicha área verde (130 ha), se decidió trozar las ramas pequeñas de la poda verde de árboles y arbustos.

El compostaje es considerado el mejor método para aprovechar los residuos orgánicos provenientes de diferentes orígenes y composiciones (Lavado, 2012). El compost es un producto higienizado, estable y maduro que resulta de dicho proceso. Está constituido, mayormente, por materia orgánica que presenta poco parecido físico a la materia prima que le dio origen (SCyMA y SENASA, 2019). El compostaje es un proceso controlado de transformación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas y termófilas. Por acción microbiana deben transcurrir tres etapas diferentes y en el orden enunciado: una primer etapa mesófila, una etapa termófila y una segunda etapa mesófila (o de maduración) (SCyMA y SENASA, 2019).

El proceso completo genera un material maduro que disminuye patógenos, semillas viables de malezas y evita los problemas ambientales que puede originar la inestabilidad de sustancias orgánicas “frescas”. También se registra disminución de contaminantes orgánicos y reducción en la biodisponibilidad de metales pesados. La operatoria de reciclado utilizando compostaje trae múltiples ventajas: se reducen costos económicos y ambientales y se generan productos de valor: abonos, enmiendas y sustratos mejoradores de las condiciones edáficas (Cooperband 2000).

Su valor como enmienda es que contribuye a recuperar la materia orgánica del suelo y por lo tanto, mejora la estructura, la dinámica del agua, la actividad biológica, la provisión de nutrientes y el control de la erosión. Su valor como abono o fertilizante es que aporta nutrientes en forma dosificada.

Además de su empleo como enmienda o como abono, el compost puede utilizarse como sustrato cuando su calidad lo permite (Barbaro y Karlanian, 2012). Es el sustrato ambientalmente más sustentable (Abad et al. 2001) y puede ser utilizado en forma concentrada en mezclas, con hasta un 50-60% (Barbaro y Karlanian, 2012), para mejorar la porosidad, la dinámica del aire y del agua para los vegetales (ornamentales o alimenticias) que crecen en contenedores o en pequeños canteros.

Es importante que el compost (o cualquier otro

producto orgánico), sea analizado para establecer sus características de calidad, de estabilidad y de madurez. Según el material de origen y donde sea utilizado, hay que tener en cuenta criterios precautorios que eviten la contaminación de suelos y aguas. Además, para certificar un buen compostaje es necesario realizar controles de proceso y de calidad final, existiendo varios indicadores (Mazzarino, 2012; SCyMA y SENASA, 2019). A principios del año 2019 se aprobó el Marco Normativo que determina parámetros y valores del proceso de compostaje y de calidad final (SCyMA y SENASA, 2019), aunque todavía no hay una ley nacional que reglamente y controle eficazmente su cumplimiento. Cada material, según sus características, tiene que ser utilizado de acuerdo a las necesidades de cada especie y cada etapa de crecimiento (Ravid y Lieth, 2008). Para ello es fundamental realizar una caracterización física del material (Ravid y Lieth, 2008): capacidad de aire, capacidad de agua, porosidad, densidad aparente y granulometría. Esta información es casi inexistente en los productos comerciales. Por otro lado, los límites máximos recomendados para la salinidad y el pH suelen ser más estrictos, menores, respecto al uso como enmienda.

Atendiendo a todas las bondades y ventajas de un producto compostado, a partir del año 2015, y en el marco del Programa de Gestión de Áreas Verdes (ProGAV) de la UNC, se comenzó a recolectar residuos vegetales crudos del Comedor Universitario dos veces a la semana, con el propósito de reciclarlos en conjunto con una porción del Chip de poda, realizando un proceso controlado de compostaje. En el año 2017 se incluyeron otros comedores del área y con tres recolecciones semanales.

En el vivero de Planeamiento Físico de la UNC se producen plantines destinados al Área Verde de la Ciudad Universitaria UNC y se realizan prácticas de estudiantes de la Tecnicatura Universitaria de Jardinería y Floricultura (TUJyF; FCA-UNC) y de la Escuela de Oficios de la UNC. El conocimiento y las prácticas relacionadas con el proceso de compostaje es un aspecto fundamental de su formación, así como la disponibilidad de compost para sus prácticas. También es importante conocer cómo caracterizarlo para su uso como sustrato, sea de producción propia o no.

El principal objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad como sustrato o como enmienda de los dos tipos de productos producidos: el compost controlado

(Chip + Vegetales) y el material orgánico estibado sin intervenciones (Chip solo). También se propuso: 1- Determinar si el diseño inicial de la planta de compostaje es adecuada para el tipo y cantidad de residuos, de recursos materiales y humanos y capacidad operatoria disponibles. 2- Realizar un monitoreo y seguimiento del proceso de compostaje (Chip + vegetales). 3- Utilizar la planta experimental de compostaje, las acciones desarrolladas (evaluación de calidad, operatoria de compostaje y monitoreo), y los productos generados (para sustrato o enmienda), como recursos didácticos en las prácticas del espacio curricular Suelos y Sustratos, del módulo Suelos, de la (TUJyF; FCA- UNC). 4- Ajustar y enseñar técnicas sencillas para la caracterización de sustratos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia de compostaje se realizó en el Vivero de Planeamiento Físico de la UNC, ubicado en la Ciudad Universitaria, Av. Rogelio Nores Martínez y Av. Haya de la Torre (64° 11' S; 31°26' 20" W, altitud 436 m snm), Ciudad de Córdoba, Argentina. El diseño inicial de la planta de compostaje controlado estuvo a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI (convenio UNC-INTI): sistema mixto de pilas estáticas a cielo abierto y con volteo manual, a los fines de homogeneizar y airear el material y para asegurar que toda la masa alcance altas temperaturas de la etapa termófila. Dentro de un concepto de "módulo experimental y demostrativo" de planta de compostaje, el tamaño de cada pila se estableció de acuerdo a la cantidad del material disponible, con un tamaño de pila mínimo para mantener la temperatura en el centro de la misma y que fuera compatible con el volteo manual.

Las cantidades generadas de Chip de poda y de Vegetales de los comedores son variables en el año, mayores las primeras (estimado entre 40.000 y 70.000 kg), respecto a las segundas (estimado entre 7000 y 15000 kg). A los fines de utilizar la mejor relación de mezcla se buscó de emplear la mayor cantidad posible del material no limitante (Chip de poda) pero dentro del rango óptimo de relación C/N (entre 25/1 y 35/1, Hubbe et al. 2010). También se tuvo en cuenta que el material más carbonado (alta relación C/N), el Chip, tiene una baja relación superficie/masa, menor que otros materiales ricos en C y muy utilizados, como es la viruta, el papel y el cartón. Por este motivo se consideró probable que un resto de Chip quedara sin descomponer al final del proceso, o sea, que no todo el carbono proveniente del Chip participaría de la descomposición. A los fines de facilitar la operatoria

del personal responsable de realizar las mezclas en el armado de una pila de compost, y reducir la posibilidad de errores, en las plantas de compostaje es importante el uso de relaciones volumétricas y enteras. Con este material se fueron formando pilas continuas de aproximadamente 1,50 m de ancho x 1,50 m de alto, a los fines de estibarlos y lograr una mínima descomposición hasta su uso, aunque no se realizó ninguna tarea para acelerarla (riego, volteo y/o adición de otros materiales). Dadas las características del material, la composición promedio de C/N, humedad y densidad, se propuso una mezcla de Chip y de Vegetales con una relación 2:1 v/v, lo cual arroja una relación C/N inicial de 25-30 y representa una relación aproximada de 1:1 p/p.

Dos veces a la semana se mezclaban en la pila los residuos vegetales del comedor recolectados con el Chip de poda, en la relación mencionada. Se utilizaron baldes y carretillas para la medición y el transporte. Los residuos de comedor se incorporaron sin trozado previo, mientras que los restos de ramas de poda verde se cortaron con cuchilla mecánica en partículas entre 10 y 50 mm con una Chipeadora mecánica Marca Deisa, modelo CH1200, 100-15 CV. Para lograr el tamaño de pila planteado y de acuerdo a la cantidad de residuos disponible y las posibilidades operatorias de recolección, se fijó en un mes la formación de cada pila individual, formando capas intercaladas de los residuos vegetales con los residuos de áreas verdes.

Durante el año 2015 se armaron 7 pilas de compost entre los meses de abril a noviembre y se recicló 8.500 kg de residuos y en el año 2016 se armaron 8 pilas entre marzo a noviembre y se recicló 12.777 kg. Luego del cierre de cada pila se realizó el primer volteo y el primer riego, y se continuó con esta operatoria cada 15 días, o en algunos casos antes, según necesidad. Para este trabajo se utilizaron las tres primeras pilas de compost, correspondientes a los meses de abril, mayo y junio. El excedente de Chip de poda (de aquí en adelante “mejorador orgánico”) se siguió estibando en pilas continuas, con deposiciones contiguas de las diferentes partidas, con aproximadamente 2 m de ancho y 1,5 m de alto. No se realizó volteo ni riego.

Toma de muestras, determinación de madurez y finalización del proceso de compostaje

Las muestras de cada pila se formaron con 15 sub muestras tomadas entre 15 y 30 cm y con una humedad <60%. El concepto de calidad de un sustrato incluye tres aspectos: calidad agronómica, madurez y estabilidad. Un sustrato puede tener buena calidad

agronómica y no estar maduro y/o estable. Estas últimas dos características dependen del factor tiempo y las buenas condiciones de compostaje, y es lo que determina la finalización del proceso. A los fines de determinar la madurez del producto, se comienzan a tomar muestras compuestas a partir que la temperatura permanece por debajo de 40°C. Si se cumple la condición de madurez y con temperatura estable en las pilas, se completa el análisis con el resto de los indicadores de calidad agronómica y de estabilidad.

A los fines comparativos, se muestreó el mejorador orgánico (Chip) de la misma fecha de iniciación que el compost (abril, mayo, junio 2015). Previendo una descomposición más lenta, y a los fines de lograr un producto que cumpla con al menos uno de los indicadores de madurez, también se tomaron muestras con más tiempo de estibaje (octubre, noviembre, diciembre 2014) y por lo tanto, con mayor tiempo de descomposición.

Registro de temperatura

La temperatura es el principal indicador de la evolución del proceso en general y del comienzo de la etapa de madurez y estabilidad en particular. Se controló periódicamente el proceso de compostaje en las pilas con un monitoreo semanal (días viernes) de temperatura y de humedad a 60 cm de profundidad (Fig. 1). También se registró la temperatura en la pila estibada del “mejorador orgánico”, en el sector correspondiente a las mismas fechas de inicio que las tres pilas de compost (abril, mayo y junio). Esto fue solamente a los fines orientativos y sabiendo que al no tratarse de un proceso de compostaje controlado no era esperable la sucesión secuencial de las tres etapas de temperatura.

Determinaciones analíticas.

Las diferentes variables se analizaron en muestras secas a 40 °C.

Indicadores de calidad agronómica químicos: C, NT, pH, CE, P soluble; físicos: porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, densidad aparente y granulometría), de madurez y de estabilidad (I.G, C soluble en agua (CSA), amonio, relación CSA/NT, relación C/N). Los análisis químicos se realizaron según metodologías descritas en García et al. (1991), Laos et al. (2002) y Leconte et al. (2009): C orgánico (C) por combustión seca a 550 °C usando el factor 1,8 para convertir materia orgánica a carbono; N por semi-micro Kjeldahl (NK); conductividad eléctrica (CE) y pH

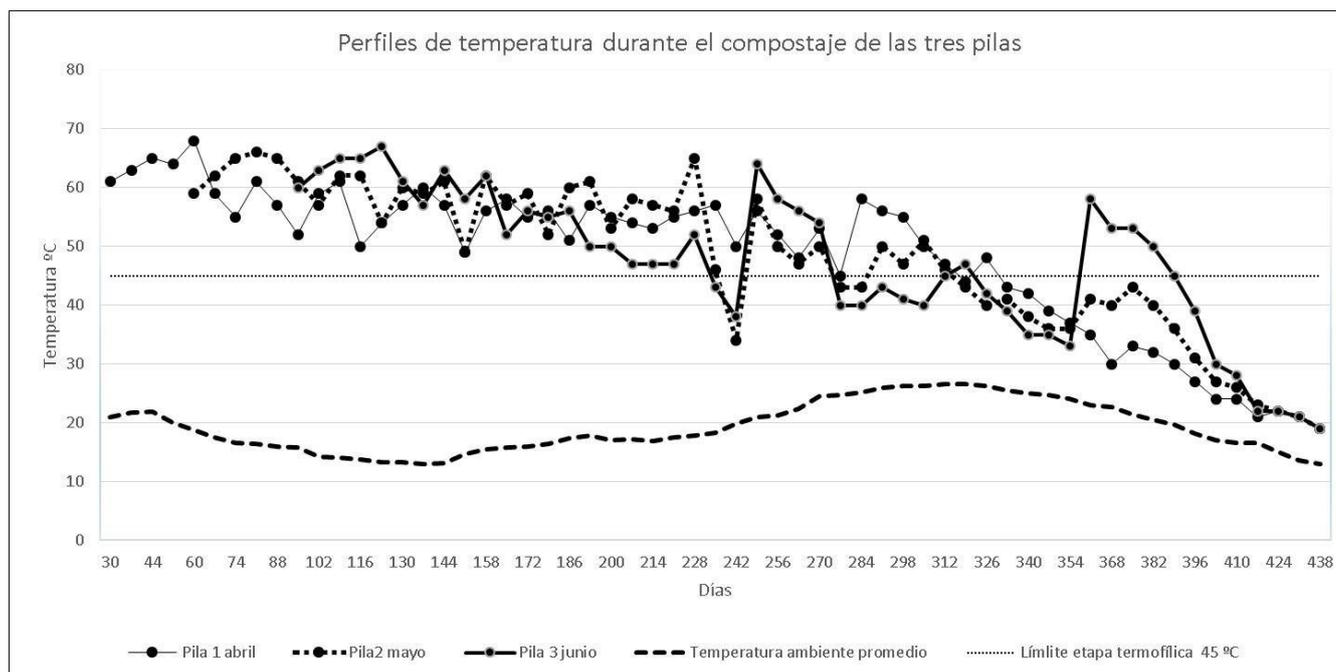


Figura 1. Día 1, inicio de armado Pila 1 (abril). Día 30, inicio de armado Pila 2 (mayo), fin de armado Pila 1 e inicio de registro de temperatura pila 1. Día 60, inicio de armado Pila 3 (junio), fin de armado Pila 2 e inicio de registro de temperatura pila 2. Día 90, fin de armado Pila 3 e inicio de registro de temperatura pila 3. Las temperaturas se comenzaron a registrar a partir del fin de armado de cada Pila (Días 30, 60 y 90, pilas 1,2, y 3, respectivamente).

en extracto acuoso (1:10), N-NH₄⁺ en extractos de KCl 2M (1:10) y determinados por la reacción de Berthelot para N-NH₄⁺; C soluble en agua (CSA) como demanda química de oxígeno en relación 1:10, y P extractable en bicarbonato (1:100) y determinado por el método de molibdatoácido ascórbico. Todos los datos, excepto pH y CE, se corrigieron por peso seco a 70°C. Como indicador adicional de madurez se determinó el índice de germinación (IG) de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en una muestra compuesta de las tres réplicas de cada tratamiento (Campitelli, 2010), según una modificación de Zucconi et al. (1981) y Zubillaga & Lavado (2006), realizando cuatro repeticiones con extractos 1:10 de compost:agua. A los 7 días se registró el porcentaje de germinación y largo de raíces mayores de 5 mm y se calculó la

$$\text{GRS (\%)} = \frac{\text{Nº semillas germinadas en extracto}}{\text{semillas germinadas en control}} \times 100$$

$$\text{CRR (\%)} = \frac{\text{longitud de raíces en extracto}}{\text{raíces en control}} \times 100$$

$$\text{IG (\%)} = \frac{\text{GRS} \times \text{CRR}}{100}$$

germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de raíces (CRR) y el IG como se detalla:

La relación C/N es indicador de madurez utilizable para productos de origen vegetal pero no de origen animal (Bernal et al., 1998; BioAbfv, 1998; CCQC, 2001; Woods End Res. Lab., 2005). Las caracterizaciones físicas de sustrato porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, granulometría y densidad aparente (g.cm⁻³), se realizaron adaptando las metodologías propuestas por Ansorena Miner (1994) y US Compost Council (2001).

Análisis estadístico

Las diferencias de medias entre tratamientos se evaluaron mediante test de Tukey (p<0,05). El programa estadístico usado fue InfoStat (Di Rienzo et al., 2007)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proceso de compostaje y descomposición del material orgánico

Temperatura ambiente y precipitaciones (registros):

En la tabla 1 se muestran los registros mensuales de precipitaciones y las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales para los dos años del proceso evaluado.

Tabla 1: Precipitación acumulada, temperaturas promedio máximas y mínimas mensuales, años 2015 y 2016, datos del Observatorio Astronómico de la Ciudad de Córdoba, Argentina

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PP (mm) 2015	112,9	382,6	66,3	75,8	14,3	1,8	12,8	15,0	10,2	24,3	77,7	79,1
Tmax °C 2015	31,4	27,3	27,8	27,6	22,4	20,7	20,1	21,5	23,2	23,6	27,4	31,7
Tmin °C 2015	19,6	18,0	17,6	15,9	12,7	7,8	6,3	9,6	10,2	12,0	15,0	18,7
PP (mm) 2016	101,3	447,2	58,9	127,4	13,7	55,0	3,9	1,0	0,0	100,4	43,1	152,2
Tmax °C 2016	32,5	30,4	26,9	21,4	17,7	16,3	16,5	23,0	24,5	24,7	29,5	31,9
Tmin °C 2016	20,5	19,7	15,9	12,5	9,5	4,3	5,4	8,2	9,7	12,6	14,9	18,4

Tabla 2: Características de los compost estudiados. La determinación de capacidad de aire, capacidad de agua, densidad aparente y porosidad se realizó con partículas < 10 mm. Promedios seguidos por letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

		Compost 2 Chip + Vegetales	ompost 1 Chip solo	
Características químicas	Materia Orgánica (%) Calcinación	38,7 a	37,0 a	
	Carbono Orgánico (%) (M.O./1,8)	21,5 a	20,5 a	
	Nitrógeno total (%)	1,05 a	1,13 a	
	C/N	20,5 a	20,5 a	
Estabilidad y Madurez	P-Olsen (ppm)	143,2 a	121,5 b	
	pH (1:10)	7,7 a	8,2 b	
	Conductividad Eléct. (1:10) dS/m	0,5 a	0,48 a	
	N- NH4 (mg. Kg) ⁻¹	67 a	515 b	
	C Soluble en agua (CSA) g.kg ⁻¹	4,2 a	15,4 b	
	CSA/ N total	0,40 a	1,36 b	
Caracterización física del sustrato	Índice Germinación (1:10, 100%)	115 a	72 b	
	C/N	20,5 a	20,5 a	
	Capacidad de aire % (v.v ⁻¹)	12,5 a	14,5 b	
	Capacidad de agua % (v.v ⁻¹)	59 a	58 a	
	Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0,51 a	0,49 a	
	Porosidad (%)	71,5 a	72,5 a	
	Granulometría	> 10 mm	5 a	11 b
		10-5 mm	11 a	50 b
5-1 mm		14 a	19 b	
< 1 mm		70 a	20 b	

Temperatura del Compost (Chip + vegetales): La temperatura es el principal indicador de un correcto proceso de compostaje. Debe estar entre 45°C y 75°C en las semanas iniciales, para luego descender por debajo de 40°C en las semanas de estabilización y maduración (Mazzarino et al. 2012). A pesar que el tiempo requerido para lograr un producto maduro y estable es variable, se puede lograr y es recomendable que no sea mayor de 6 meses (Mazzarino et. al 2012). Es importante que tenga entre 40 y 60 % de agua, para mantener las condiciones de humedad y aerobiosis. La temperatura próxima a la del ambiente y estable es un indicador de estabilidad (Mazzarino et. al 2012).

La temperatura de las pilas estuvo por encima del límite de la etapa termofílica durante 247 días, 175 días y 145 días en las pilas 1, 2 y 3 respectivamente (fig1), pero ésta recién se comenzó a estabilizar a partir del día 375, y alcanzó valores similares a la ambiente a partir del día 417 de iniciado la primer pila de compost.

Temperatura del “mejorador orgánico” (Chip solo). Los mayores valores de temperatura, de entre 55°C y 60°C, solamente se registraron en tres semanas, y a continuación de precipitaciones. En seis semanas se

registraron temperaturas entre 45°C y 55°C, y el resto de las semanas de control (34) se registraron temperaturas inferiores a 45°C.

Estabilidad y madurez, Debido a que a partir del día 326 la temperatura comenzó a descender (fig1), en el día 340 se tomó una muestra compuesta de cada pila para evaluar madurez (I.G%, N-NH₄⁻, C/N, y pH como orientativo) y todas arrojaron valores fuera del límite recomendado: pH > 9, I.G. < 60%, N-H₄⁻ > 400 mg.kg⁻¹ y pH 8,9. Luego la temperatura subió nuevamente por algunas semanas, para finalmente volver a descender y estabilizarse. Debido a la reducción natural del volumen inicial de más del 50% de las pilas, la reducción y estabilización de temperatura, se decidió unificar las tres pilas en una sola para mejorar la operatividad. En el día 438 se tomó una muestra compuesta para determinar todos los indicadores de estabilidad y madurez (pH, I.G, CSA, N-NH₄⁺ y CSA/NT, tabla 2). Sus valores en el compost confirmaron madurez, por lo cual se realizó el análisis completo de la muestra (tabla 2). No sucedió lo mismo con la muestra del mismo período de inicio del mejorador orgánico (Chip solo), por lo cual se utilizó una muestra del período anterior (octubre, noviembre, diciembre, 2014, de 598 días desde el inicio). Estos valores son los que figuran en la tabla 2

La mayor diferencia de los dos productos son los parámetros de madurez y de estabilidad (tabla 2). El compost los cumple con los cuatro (N-NH₄⁺ < 400 ppm; I.G > 60%, CSA ≤ 10 g.kg⁻¹ y CSA/NT ≤; SCyMA y SENASA, 2019) y en el caso del I.G., al tener un valor mayor de 100% muestra un efecto estimulador de crecimiento. El mejorador orgánico solamente cumple con la condición de madurez de I.G% (tabla 2), y, si bien supera su valor mínimo, es menor que el del compost. A pesar de tener 20 meses de Chipeado y estibado, no puede ser utilizado para sustrato, porque puede tener efectos fitotóxicos sobre semillas y plántulas, aunque si puede destinarse a abono y/o enmienda.

El tiempo transcurrido en el compost para llegar a constituir un producto maduro y estable ha sido más del doble del habitual en experiencias de compostaje en sistemas abiertos con volteos de residuos sólidos urbanos (Tognetti et al., 2008). Los registros semanales de temperatura del compost mostraron una cierta fluctuación en la etapa termofílica que favoreció el retardo del proceso, prolongando el tiempo para lograr un producto maduro y estable (fig

1). La falta de oxigenación suficiente podría ser otro motivo. La forma del Chip utilizado no favorece la aireación en la pila, ni el contacto del Chip con los vegetales crudos en el caso del compost, lo cual retrasaría la descomposición de la mezcla. Además de tener menor relación superficie/masa respecto a la viruta proveniente del cepillado de la industria maderera, tiene una forma plana y alargada, no curvada como la viruta, que al mezclarla con otros materiales, no favorece la conservación de micrositios aireados dentro de las pilas de compost en el tiempo entre volteos. Estas dos propiedades (alta relación superficie/masa y forma curvada) le confieren a la viruta una alta capacidad “estructurante”. También se observó cierta alternancia en el contenido de humedad de las pilas, con algunos días por debajo del óptimo (40%), y con otros con excesiva humedad y aireación insuficiente, favorecido por el factor mencionado, de la forma del Chip. Si bien los dos materiales utilizados son heterogéneos, sería de utilidad disponer de mayor información sobre su composición de C y de N, a los fines de ajustar las proporciones a mezclar.

Calidad

Los resultados muestran que en los dos casos se obtiene un producto de buena calidad agronómica. Ambos poseen bajo contenido salino y valores de pH alcalinos, esto último debido al material de origen vegetal, con abundancia de CaCO₃ (Kovaljow et al. 2010). Sin embargo el compost posee valores pH algo menores, más favorables. Tienen valores de C.O. y N.t mayores que otros productos de residuos de sólidos urbanos (CRSU) (Tognetti et al. 2008). Poseen una adecuada relación C/N, muy similares (20,5) y la cantidad de Pextractable es baja como todo material de origen vegetal (Tognetti et al. 2008), lo cual implica bajo riesgo de contaminación en su uso como abonados y/o enmiendas. Las características físicas son buenas y similares, excepto la granulometría, más fina en el compost. Ambos poseen una porosidad efectiva mayor del 70%, capacidad de aire (CA) entre 10 y 20 % y capacidad de retención de agua (CRA) cercana al 60%, todos valores aptos para uso como sustrato (Moreno, 2015).

El análisis granulométrico arrojó valores de 5% y 11% para la fracción > 10 mm, y de 11% y 50% para la fracción de 5-10 mm, para el compost y el mejorador orgánico respectivamente. Estas dos fracciones están constituidas fundamentalmente por partículas de Chip sin descomponer y, de acuerdo a estos resultados están en mayor cantidad en el “mejorador orgánico”

(Chip solo) respecto al compost. La diferencia hay que atribuirle a las mejores condiciones de descomposición del compost, lo que confirma su mayor aptitud de este material para su uso como sustratos.

Operatoria del proceso de compostaje

El diseño planteado fue adecuado para el tipo y la cantidad de material utilizado. Las diferentes instancias de recolección, deposición y armado de las pilas se pudieron realizar en el marco de otras actividades realizadas en el vivero de Planeamiento Físico de la UNC y en el mantenimiento de las áreas verdes del campus universitario. Asimismo, se podría mejorar la eficiencia del proceso, como se detalla más adelante.

Experiencia didáctica

El proceso de compostaje, el monitoreo y el análisis del compost fueron utilizados para la enseñanza práctica en los cursos del *Módulo Suelos y Sustratos* de la TUFyJ, en los años 2015 y 2016, y en años sucesivos. Respecto a las determinaciones analíticas para sustratos, con los alumnos se realizaron réplicas de aquellas técnicas que se enseñan y se practican en el curso: pH, salinidad, I.G., porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, densidad aparente y granulometría. A partir del año 2015, los cursos de los tres años de la Tecnicatura utilizan el producto como sustrato para sus prácticas en diferentes espacios curriculares, especialmente *Practicanato*. También se utiliza el *mejorador orgánico* en canteros.

En los estudiantes se observó una mejora en: 1- La comprensión de las técnicas analíticas; 2- La apropiación de conocimientos y destrezas para utilizar técnicas de caracterización de sustratos que permiten evaluar calidad y madurez de materiales y tomar decisiones sobre su uso; 3- La capacidad para proponer usos y manejo del suelo y su mejora mediante el uso de enmiendas y abonos 4- La habilidad para confeccionar mezclas de sustratos adecuadas a las diferentes necesidades vegetales. 5- El rendimiento en las diferentes instancias evaluatorias.

CONCLUSIONES

El compost producido es apto para ser utilizado como sustrato, de acuerdo a los buenos indicadores de calidad, de madurez y de estabilidad, al tiempo transcurrido de la etapa termófila (buena sanidad y control de semillas de malezas), y la granulometría final.

El largo tiempo transcurrido hasta madurez y estabilidad (más de un año) podría deberse por deficiencias temporarias de humedad y oxigenación dentro de las pilas.

Otros factores que pueden haber retardado el proceso de descomposición son los siguientes: 1- Debido a limitaciones de la cantidad disponible de vegetales frescos, y a la disminución natural de volumen por el propio proceso de compostaje, las pilas mensuales formadas fueron un poco menores al tamaño y proporciones del diseño original y recomendadas para obtener buenas condiciones para la generación de condiciones óptimas de temperatura; 2- El producto proveniente del comedor no fue picado. El trozado del material, especialmente de algunos residuos como cáscaras de cítricos y marlos, podría favorecer la degradación y la mineralización del material durante el proceso; 3- La deposición de capas sucesivas de los dos tipos de materiales sin mezclado en el armado de la pila, podría favorecer la descomposición demasiado rápida de los Vegetales, con pérdidas gaseosas de N y la falta de N para la descomposición del material más carbonado del Chip.

Respecto al mejorador orgánico (Chip solo) podría utilizarse en proporciones más diluidas, como enmienda y/o abonado en suelo, teniendo en cuenta el nivel de control de madurez y de estabilidad que haya tenido cada partida, fundamental para determinar posible presencia de cantidades inconvenientes de fitotoxinas.

SUGERENCIAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO Para el compost:

- 1- Trozar los vegetales frescos (ej. marlos de choclo, cáscaras cítricos).
- 2- Durante el proceso de formación inicial de la pila, realizar uno o dos volteos (y riego), según temperatura, en lugar de esperar hasta la finalización de la formación de la pila. Las dos acciones anteriores a los fines de lograr un mejor contacto y mayor mezcla de los dos materiales con diferente relación C/N.
- 3- Armar pilas un poco más grandes, recolectando mayor cantidad semanal de residuos de vegetales de comedores, o prolongando un poco el tiempo de formación de la pila (seis semanas en lugar de cuatro).
- 4- Hacer una fila más continua, en la que las pilas formadas mensualmente mantengan su individualidad pero que sean contiguas y se superpongan parcialmente de manera de tengan menor superficie expuesta y mayor estabilidad en humedad y temperatura.

- 5- Trabajar con horquilla para favorecer la aireación, entre volteos.
- 6- Realizar los volteos en forma mecánica en lugar de hacerlo en forma manual. Las ventajas serían varias: se lograría un mejor producto en menor tiempo y se reducirían las horas-hombre utilizadas para esta operatoria.
- 7- Mejorar el riego de las pilas, diseñando un sistema de goteo o dispersión aéreo, con una estructura simple compatible con el manejo de las pilas-fila.
- 8- Realizar determinaciones de las cantidades promedio de C y N de los materiales de origen.

Para el mejorador orgánico:

Con el Chip de poda se podría realizar un adecuado proceso de compostaje y obtener un buen producto para ser utilizado tanto como enmienda o como sustrato. Para ello se debería realizar una deposición ordenada del material, respetando la secuencia en el tiempo para formar las pilas continuas. Es fundamental tener sectorizados las diferentes edades, estados de descomposición y madurez. Dadas las mayores cantidades respecto a las pilas de compost, se debería utilizar maquinaria específica para este fin, como la diseñada por la marca PATO en convenio con el INTA o en su defecto utilizar una pala tipo BOBCAT. Cumplidas las dos condiciones anteriores, se podría implementar un sistema adecuado de riego y monitorear el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Arquitecta Viviana Rodríguez, coordinadora del Programa de Gestión Ambiental Sustentable (GASus), Subsecretaría de Planeamiento Físico, UNC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad M, Noguera P, Burés S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresour Technol*, 77(2): 197-200.
- Ansorena Miner, J 1994. *Sustratos: Propiedades y Caracterización*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 172 pp.
- Barbaro LA, Karlaninan MA. 2012. Uso del compost en la formulación de sustratos para plantas. En: MJ Mazzarino & P Satti (eds.). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. Pp.175-184. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Campitelli PA 2010. *Calidad de Compost y Vermicompostos para su uso como Enmiendas Orgánicas en Suelos Agrícolas*. Tesis, Escuela para Graduados, Facultad de Ciencias Agropecuarias, U.N.C.
- Cooperband L. 2000. Sustainable use of by-products in land management. In: Bartels, J.M., Dick, W.A. (Eds.), *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-products*. SSSA Book Series Nº 6, Madison, USA, pp. 215–235.
- Di Rienzo J, Casanoves F, González L, Tablada M, Robledo C, Balzarini M. 2007. *Infostat*. Versión 2007. Grupo InfoStat. FCA, UNC, Córdoba, Argentina.
- García C, Hernández T, Costa F. 1991. Study on water extract of sewage sludge composts. *Soil Sci.Plant Nutr.* 37: 399-408.
- Municipalidad de Córdoba, 2019. Higiene Urbana. <https://www.cordoba.gov.ar/servicios/vecino/higiene-urbana/>.
- Hubbe, MA, Nazhad M, Sanchez C. 2010. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources* 5(4): 2808-2854.
- Kowaljow, E, Mazzarino MJ, Satti P, Rodriguez CJ. 2010. Organic and inorganic fertilizer effects on a degraded Patagonian rangeland. *Plant Soil* 332: 135–145.
- Mazzarino, MJ, Satti P. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: M.J. Mazzarino y P. Satti eds.). *Compostaje en la Argentina. Experiencias en producción, calidad y uso*. Editorial UNRN - Orientación Gráfica Editora. p 13-28.
- Laos, F, Mazzarino MJ, Walter I, Roselli L, Satti P, Moyano S. 2002. Composting of fish offal and biosolids in NW Patagonia. *Bioresour Technol.* 81: 179-186.
- Lavado, R. 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: MJ Mazzarino & P Satti (eds.). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. Pp.3-12. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Leconte, MC, Mazzarino MJ, Satti P, Iglesias MC, Laos F. 2009. Composting poultry manure with rice hulls and/or sawdust in NE Argentina. *Waste Manage.* 29: 2446-2453.
- Moreno, J, Moral R, García-Morales JL, Pascual JA, Bernal MP (Eds). 2015. *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor*. Ed Mundi Prensa, Madrid, España.
- Ravid, M, Ylieth JH. 2008. *Soiless culture: theory and practice*. Ed. Elsevier 587 pp.
- US Compost Council. 2001. *The Test Method for the Examination of Composting and Compost* (TMECC). <https://compostingcouncil.org/tmecc/>.
- SCyMA y SENASA, 2019. *Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost*.

Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y Servicio de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Resolución conjunta 1/2019. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>.

Tognetti, C, Mazzarino MJ, Laos F. 2008. Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biol. Biochem.* 40: 2290–2296.

USEPA, 1995. *Test methods for evaluating solid waste. Vol IA: Laboratory manual physical/chemical methods.* SW 846, 3rd Ed. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C.

Zubillaga, MS, Lavado RS. 2006. Phytotoxicity of biosolids compost of different maturity degree compared with biosolids and animal manures. *Compost Science and Utilization* 14: 267-270.

Zucconi, F, Pera A, Forte M, De Bertoldi M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle* 22: 54-57.