

Determinación de la mejor cantidad de agua y relaciones carbono:nitrógeno para el establecimiento de una compostera

**Adolfo José Reinoso Díaz
Pablo Andrés Ruiz Ruiz**

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Determinación de la mejor cantidad de agua y relaciones carbono:nitrógeno para el establecimiento de una compostera

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Adolfo José Reinoso Díaz
Pablo Andrés Ruiz Ruiz

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

Determinación de la mejor cantidad de agua y relaciones carbono:nitrógeno para el establecimiento de una compostera

Presentado por:

Adolfo José Reinoso Díaz
Pablo Andrés Ruiz Ruiz

Aprobado:

Jeffery Pack, D.P.M.
Asesor principal

Miguel Vélez, Ph.D.
Director de Carrera
Ciencia y Producción Agropecuaria

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesora

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador de Fitotecnia

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Reinoso, A.; Ruiz, P. 2008. Determinación de la mejor cantidad de agua y relaciones carbono:nitrógeno para el establecimiento de una compostera. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 23 p

Zamorano genera alrededor de 22 m³ de desechos orgánicos diarios. En el establecimiento de la compostera en Zamorano, para aprovechar esos desechos orgánicos se reconoció la necesidad de evaluar los factores de producción de abono. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar tres relaciones carbono:nitrógeno (30, 40 y 50) y tres cantidades relativas de agua (seco, húmedo y mojado), para determinar diferencias en la producción y calidad del compost. El estudio fue efectuado entre julio y septiembre de 2008 y duró 70 días. Se establecieron diferentes mezclas de materias según el tratamiento con compuestos como: desechos del comedor estudiantil, estiércol de vaca, y olote (tronco de la mazorca). Se usó un diseño factorial con BCA, con tres humedades, tres relaciones C:N y cuatro repeticiones. Fue analizado con SAS por el método de Tukey con una significancia de $P \leq 0.05$. Se establecieron curvas de temperatura típicas para la producción de compost. Los tratamientos con C:N 30 y 40 tuvieron una tendencia a tener temperaturas más altas comparadas con la relación C:N 50 seguidas de un periodo de enfriamiento y maduración. El compost maduro con una relación C:N 30 tuvo mejores resultados comparado con 40 y 50, 87.9, 68.8 y 64.2 kg/ pila, respectivamente. En cuanto a relación C:N, ya que el rendimiento de la relación de 30 fue superior a 40 y 50, con 33.6, 25.3, y 23.3% de compost maduro respectivamente. Se estableció el valor equivalente del compost con los precios actuales de los fertilizantes más usados en Zamorano para suplir N-P-K: Urea US\$1.22/ kg; nitrato de potasio US\$1.83/ kg; y MAP (fósforo) US\$2.03/ kg. Se calculó que 100 kg de compost contiene: 1.2%N, 1.05% P₂O₅ y 1.08% K₂O, con un valor de US\$ 11.12/ 100 kg.

Palabras clave: compost, curvas de temperatura, materia orgánica, relación C:N

ABSTRACT

Reinoso, A.; Ruiz, P. 2008. Determination of the best quantity of water and carbon:nitrogen ratio in the establishment of a composting operation. Senior Project, Zamorano, Honduras. 23 p.

Zamorano generates 22 m³ of organic wastes daily. In order to recycle these wastes in the establishment of a composting operation, the need to evaluate principal production factors was recognized. This project evaluated three carbon:nitrogen C:N ratios (30, 40 y 50) and three relative moisture contents (dry, humid and wet), on compost yield and quality. The study took place between July and September 2008 after 70 days. Different blends of raw material were made depending on the treatment, consisting of: wastes from the student cafeteria, cow manure, and corn cobs. A CRBD with factorial arrangement (relative humidity by C:N ratio) and four repetitions was used. Temperature curves also were generated for the various treatments. Although not analyzed statistically treatments with C:N 30 and 40 had higher thermophilic-phase temperatures and duration than those with C:N 50. Piles with C:N 30 had significantly more mature compost (87.9 kg/ pile) than those with C:N 40 or 50, respectively. The percentage of mature compost was also significant for C:N 30 (33.6%), was also superior to C:N 40 and 50 (25.3 and 23.3% respectively). Nutrient analysis revealed an average content of 1.2% N, 1.05% P₂O₅ and 1.08% K₂O. No significant differences between treatments, either with respect to C:N ratio or moisture were found for N or P, however there was a significant difference for K with respect to moisture as the moist pile had less K (0.93% as K₂O) than wet or dry piles. Comparing 100 kg of compost with current fertilizer prices commonly used at Zamorano (urea US\$1.22/ kg; potassium nitrate \$1.83/ kg and MAP \$2.03/ kg) revealed a fertilizer value of \$11.12.

Key words: compost, C:N ratio, organic matter, temperature curves.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Hoja de firmas	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
Contenido	v
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
CONCLUSIONES.....	15
RECOMENDACIONES	16
LITERATURA CITADA	17
ANEXOS.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Aporte de nutrientes del agua de riego al compost.....	7
2. Contenido de N, P y K en el compost según su relación inicial C:N	8
3. Contenido de N, P y K en el compost según humedad inicial.....	8
4. Contenido de nutrientes en el compost.....	8
5. Rendimiento de compost según relación C:N	13
6. Rendimiento de compost según humedad	14
7. Análisis del aporte de compost (100 kg) como fertilizante.....	14
8. Costo de producción de compost en la unidad Hortícola de Zamorano.....	14
Figura	
1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 30:1	10
2. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 40:1	11
3. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 50:1	12
Anexo	
1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 seco.....	18
2. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 seco.....	18
3. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 seco.....	19
4. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 húmedo.....	19
5. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 húmedo.....	19
6. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 húmedo.....	20
7. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 mojado.....	20
8. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 mojado.....	20
9. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 mojado.....	21

INTRODUCCIÓN

El abono orgánico o compost es producido como resultado de la descomposición aeróbica o anaeróbica de una gran variedad de desechos de cultivos, animales, humanos e industriales. El compost está categorizado como compost rural o urbano, de acuerdo con el tipo y localidad de donde se obtienen los desechos para el compostaje. El compost se prepara a través de la acción de microorganismos sobre los desechos, tales como hojas, raíces y rastrojos, residuos de cultivos, paja, recortes de arbustos, malezas, bagazo, aserrín, desechos de animal y productos de desecho de la vida de los humanos. Estos materiales atraviesan por una descomposición a temperaturas elevadas (40-65°C) en pilas u hoyos con adecuada humedad. El compost está maduro en 3 a 12 meses dependiendo del manejo y cuando la temperatura en la pila se acerca a la del aire circundante (Tandon y Roy 2004).

El uso y producción de compost tiene mucho potencial en la agricultura debido a las mejoras al suelo, aporte de nutrientes y reciclaje de desechos (Van Horn 1995). Otras ventajas del compost incluyen el aprovechamiento de desechos que se desperdician, favoreciendo el desarrollo de microorganismos benéficos al suelo, el aumento de porosidad y aireación del suelo y un aumento de disponibilidad de nutrientes para la planta (Anónimo 1988).

Procesos de elaboración de compost

Existen tres procesos generales en la producción de compost: aeróbico activo, aeróbico inactivo y anaeróbico. En el aeróbico activo se diferencian el aeróbico activo y el vermicompost. En el aeróbico activo, se voltea la pila con cierta frecuencia, liberando exceso de dióxido de carbón y admitiendo oxígeno que juega un papel fundamental en la descomposición acelerada; el vermicompost es un proceso aeróbico ya que su aeración se realiza por medio de lombrices, una de las principales usadas es *Eisenia foetida* más conocida como la lombriz roja o californiana (Van Horn 1995).

En el proceso aeróbico inactivo no se da vuelta a la pila. En este caso, para mantener a la pila en forma aeróbica, el intercambio de oxígeno se logra por tuberías metidas en la pila y que permiten el intercambio de gases. Generalmente, debido a los niveles más bajos de oxígeno, el proceso de descomposición es más largo. En el proceso anaeróbico, los niveles de oxígeno son muy bajos y se utilizan diferentes de organismos para un proceso de degradación mediante vías fermentativas. Este tipo de descomposición es común para la captura de gases como metano (Van Horn 1995).

Factores para la elaboración de compost

Para la producción de un compost de alta calidad, hay muchos factores a considerar, como el carácter de los ingredientes iniciales (desechos vegetales, estiércol, hojas caídas, madera y papel), presencia de microorganismos y temperaturas adecuadas. Además, para llegar a un material maduro se debe tomar en cuenta la relación C:N, el contenido de agua y el tamaño de la partícula.

La relación inicial carbono:nitrógeno (C:N) al formar las pilas es uno de los factores más importantes para la producción rápida de compost de alta calidad y debe encontrarse entre 25:1 a 30:1. Si la relación se encuentra bajo este rango las pérdidas de nitrógeno por lixiviados y volatilización pueden ser excesivas; una relación alta provoca retardo en el compostaje por la inmovilización de nitrógeno (Richard 2008).

El tamaño de las partículas afecta el tiempo de descomposición de desechos orgánicos. Materias con alta superficie de contacto se descomponen muy rápidamente pero pueden compactarse. Materias con estructuras más grandes ayudan a la porosidad y entrada de oxígeno pero retardan el proceso.

Otros factores importantes incluyen una concentración adecuada de oxígeno, un pH entre 5-7 y una temperatura, que según la fase de descomposición es muy importante para que los microorganismos se desarrollen como deberán (Van Horn 1995).

La temperatura es uno de los factores que requiere de mayor atención, porque la mayoría de los hongos, bacterias y semillas de malezas mueren cuando la temperatura está sobre los 55 a 60°C (Dalzell H. 1991), y si la temperatura supera los 70°C, los organismos descomponedores también mueren. Es decir que un rango entre 60 a 70°C es clave para la descomposición rápida.

Capacidad de producción de compost en la E.A.P.

La Escuela Agrícola Panamericana genera diariamente desechos orgánicos con un volumen aproximado de 22 m³ ⁽¹⁾. Estos desechos provienen de jardines, comedor estudiantil, cafetería, planta de post-cosecha y planta de procesamiento hortifrutícola. Con un promedio de pérdida de volumen de 50%, se calcula que la E.A.P. podría producir hasta 1,800 m³ de abono maduro por año.

¹ Pack 2008. Capacidad de producción de compost en la E.A.P. Comunicación Personal, Zamorano.

El alto costo de los fertilizantes, la agricultura orgánica y el manejo integrado de cultivos han aumentado la demanda de compost. Dentro de la compostera de la E.A.P. se podrá tener un manejo adecuado de los desechos orgánicos de una forma más sostenible en que se cierren ciclos de nutrientes, que además, podría beneficiar a la estructura del suelo, mejorar la CIC y otros factores químicos del suelo de la unidad de Horticultura. Para la materia que no se use directamente en producción, la venta del compost puede significar una fuente de ingresos para la unidad.

El propósito de este proyecto fue determinar la relación C:N y la humedad más adecuada para el compostaje de tres residuos orgánicos comunes de Zamorano, determinar el contenido de nutrientes del producto final, desarrollar una curva de temperatura a lo largo del proceso de compostaje, cuantificar la cantidad de compost al final del proceso y preparar un análisis financiero del costo de abono como fertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La compostera se ubica en Zona II de la sección de Horticultura de la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada a 30 km al SE de Tegucigalpa, a 800 msnm, con un promedio de temperatura de 24°C y una precipitación de 1100 mm. El estudio se efectuó de julio a septiembre de 2008 durante 70 días.

Materiales

Se utilizaron los desechos del comedor estudiantil, de la planta de pos-cosecha, olotes (eje de la mazorca de maíz) de la planta de semillas, estiércol de la unidad de ganado de leche.

Tratamientos

Se usaron 3 relaciones C:N (30, 40 y 50) cada una con tres humedades estimadas: seco, húmedo y mojado. Los tratamientos con relación C:N 30 fueron los testigos ya que contaron con las condiciones ideales de relación C:N y cantidad relativa de agua según la literatura (Van Horn 1995).

Formación de pilas

Mediante un cuadrado de Pearson, se determinaron las proporciones a utilizar de las materias primas que formaron las pilas asignando un tratamiento para cada una. Se tomó en cuenta la relación C:N y la humedad ya establecida⁽²⁾ y de la literatura de la Universidad de Cornell sobre compostaje (Richard 2008).

Las materias primas se acumularon por separado hasta que se obtuvo una cantidad suficiente para construir un bloque de tratamientos completo. En la formación de las pilas cada tratamiento tuvo un volumen aproximado de 3.14 m³ (1 m de alto × 2 m de ancho × 2 m de largo), formando un medio cilindro con un espaciamiento entre tratamientos

² Quiroz C. 2008 Relaciones C:N de algunos desechos orgánicos. Zamorano. Comunicación Personal, Zamorano.

de 0.75 m. Al formar las pilas, se estratificaron las materias primas empezando con una capa de materiales altos en carbón (olotes), seguida por materias ricas en N (desechos de comedor y estiércol) finalizando con otra capa de olotes para prevenir malos olores. Se utilizó olote entero ya que en un ensayo preliminar se encontró que el picado incurría en un costo de US\$1.58 por un metro cúbico picado. A partir del primer volteo todas las materias se mezclaron uniformemente.

Temperatura

La temperatura se tomó a diario con un termómetro de 12" (REOTEMP Instruments 2006), entre las ocho y nueve de la mañana durante el período de descomposición. Se realizó en el centro de la pila ya que ahí se encuentra la mayor temperatura de transformación. Con estos datos se estableció una curva de temperatura del compostaje para determinar la fase en que se encontraba el compost.

Volteos

Se dio vuelta a las pilas una vez cada 15 días con el objetivo de airear, acelerar transformación y uniformizar las materias primas. La labor se efectuó usando palas y trinches, volteando la pila a una distancia de 2 metros.

Riego

Las pilas se regaron, conforme a la cantidad de humedad correspondiente a cada tratamiento. Se utilizó una forma empírica (aproximada) de campo para determinar la humedad. Para eso, se toma un puñado de abono y se aprieta. Si escurre agua, tiene demasiada agua; si se aprieta y no sale agua pero al soltar el material la mano queda húmeda y sucia, la cantidad de agua es ideal; si la mano no queda ni húmeda ni sucia, la mezcla se considera seca (Anónimo 1988). Ya que el estudio se llevó a cabo durante la época de lluvias, se colocó plástico sobre las pilas para evitar un exceso de humedad.

Se realizó un análisis de nutrientes del agua de la laguna de oxidación usada para el riego de la compostera. Con esto se buscó estimar la cantidad de nutrientes que se agregaron al compost con el riego.

Criterios de calidad de compost

Se realizaron 27 análisis de NPK. Además análisis completos a cinco tratamientos que se consideraron eran los de mejor rendimiento y otros tratamientos de interés como la relación C:N 40 y 50. Los análisis se hicieron en el laboratorio de suelos de Zamorano: N por Método de Kjeldahl, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn por Digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂, determinados por Absorción Atómica y P por espectrofotometría (colorimetría). Además se determinaron las relaciones C:N de una muestra de tratamientos para evaluar madurez.

Un compost maduro presenta las siguientes características: color oscuro, no presenta mal olor, posee la temperatura ambiente, el tamaño promedio de partícula es de 10 mm y la relación C:N oscila entre 10 y 15 (Van Horn 1995).

Rendimientos

A los 70 días de iniciado el proceso, se tamizó el material para separar el compost del material no compostado. Con eso, también se midió el porcentaje de rendimiento de la siguiente manera:

$$\% \text{ Rendimiento cosechado por peso (R.C)} = \frac{\text{peso material maduro}}{\text{peso material maduro} + \text{peso material inmaduro}} \times 100$$

Valor estimado como fertilizante

Después de evaluar el peso de producto maduro y su análisis químico, se determinó un análisis del valor del compost como fertilizante. Este análisis se realizó comparando el producto maduro con su contenido equivalente de fertilizantes comunes usados en Zamorano y sus precios a Julio de 2008: nitrato de potasio (US\$ 1.9/ kg), MAP (US\$ 2.1/ kg) y urea (US\$ 1.3 / kg) y su costo de producción.

Diseño estadístico

Se uso un diseño de BCA con nueve tratamientos y cuatro repeticiones que generaron 36 unidades experimentales. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico SAS (SAS 9.1.3 2002-2003), y se hizo una separación de medias mediante el método de Tukey con un nivel significancia de $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua

El análisis químico del agua de la laguna de oxidación indicó un aporte de nutrientes en mg/litro de N (36.4), P (7.6), K (16.8). El aporte de nutrientes fue mínimo, ya que las cantidades de agua utilizadas fueron bajas. El aporte de nutrientes (Cuadro 1) fue diferente en cada tratamiento dependiendo del de agua que recibía. Si todo el N aplicado en el agua hubiera quedado en el compost maduro (lo que es poco probable), en 84 kg de compost cosechado el aporte hubiera sido de aproximadamente 3% de N, 1% del P y 2% K.

Cuadro 1. Aporte de nutrientes con el agua de riego al compost.

Pila	Litros de agua aplicados	g/pila [§]		
		N	P	K
Seco	300	10.92	2.28	5.04
Húmedo	600	21.84	4.56	10.08
Mojado	900	32.76	6.84	15.12

[§] gramos por pila de 3.14 m³.

Contenido de nutrientes en el compost.

Las relaciones C:N de los tres tratamientos no incidieron ($P \geq 0.05$) en el contenido de N, P y K, que fue similar entre ellos. El contenido de humedad tampoco incidió en el contenido de N y P, pero si en el de K que fue más alto ($P \leq 0.05$) con 0.99 y 0.95 % en las pilas mojadas y secas (Cuadro 3).

El análisis (Cuadro 4) del compost indicó que en todos los casos el compost ya se encontraba maduro porque su relación C:N varió entre los 13 y 17, la cual se considera adecuada. La humedad fue variable, y se pudo notar que fue un compost rico en materia orgánica con contenidos entre 24% y 32% (Tandon y Roy 2004). Igualmente se encontró que además de ser un compost rico en macro-nutrientes, también lo fue en micro-nutrientes (Cuadro 4).

Cuadro 2. Contenido de N, P y K en el compost según su relación inicial C:N.

Relación C:N de la pila	Contenido total en base seca		
	%		
	N	P	K
30	1.28	0.47	0.97
40	1.33	0.51	0.83
50	1.07	0.41	0.91

Cuadro 3. Contenido de N, P y K en el compost según humedad inicial.

Humedad de pila	Contenido total en base seca		
	%		
	N	P	K
Seco	1.26	0.47	0.95 ^a
Húmedo	1.22	0.48	0.78 ^b
Mojado	1.22	0.44	0.99 ^a

^ay^b medias con diferente letra difieren estadísticamente P< 0.05 prueba Tukey.

Cuadro 4. Contenido de nutrientes en el compost.

Muestra	% Humedad	M.O ^Ω total	Rel. C:N ^Δ	Contenido total en base seca								
				%						mg/ kg ^ϑ		
				N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
T30 S ^Ξ	21	24	14	1.0	0.4	1.0	1.0	0.4	1.1	159	378	185
T30 H ^Φ	40	32	13	1.4	0.5	0.9	2.1	0.4	0.8	152	377	184
T30 M ^Ψ	43	28	14	1.2	0.7	1.0	1.6	0.4	0.8	146	356	210
T40 H ^ζ	26	26	14	1.1	0.4	0.9	1.0	0.4	1.0	76	363	132
T50 H ^κ	28	25	17	0.9	0.4	0.9	1.2	0.3	1.0	94	384	147

^Ω materia orgánica total; ^ϑ miligramos por kilogramo; ^Ξ tratamiento relación C:N 30 seco; ^Φ tratamiento relación C:N 30 húmedo; ^Ψ tratamiento relación C:N 30 mojado; ^ζ tratamiento relación C:N 40 húmedo; ^κ tratamiento relación C:N 50 húmedo

Temperatura

De las temperaturas registradas diariamente se establecieron curvas de temperatura para todos los tratamientos según C:N (Figuras 1, 2 y 3). Con ellas se determinó la fase del compostaje en la cual se encuentra el producto:

Fase termofílica: El rango de temperatura se encuentra entre 45°C y 65°C. La duración fue de 20 días aproximadamente, exceptuando las pilas con relación C:N 50 que tuvo una menor duración. En esta fase se da la descomposición de los carbohidratos simples y proteínas, la cual es realizada, en su mayoría, por bacterias que resisten altas temperaturas (Dalzell 1991).

Fase mesofílica: El rango de temperatura se encuentra entre 35°C y 45°C, la duración fue de 20 días aproximadamente, exceptuando las pilas con relación C:N 50 que duró aproximadamente 10 días. En esta fase están activas bacterias como hongos mesofílicos los cuales descomponen la celulosa, lignina y carbohidratos complejos.

Fase de maduración: La temperatura en esta fase es similar a la temperatura del ambiente. Durante esta fase la descomposición es mínima, pero es importante ya que hay formación de ácidos húmicos y se estabiliza la relación C:N (Tandon y Roy 2004). En esta fase tuvo una duración de 30 días aproximadamente excepto en las pilas con relaciones C:N 50, en las cuales las temperaturas se estabilizaron más rápido, quizá por la falta de una fuente de N para que los microorganismos siguieran actuando sobre la pila.

En los tratamientos 30 y 40 la temperatura varió de acuerdo con (Richard 2008). En los tratamientos con C:N 50 no hubo un aumento de temperatura tan grande durante el proceso, lo que puede ser debido a que los microorganismos no contaban con suficiente material para descomponer, por lo que llegaron más rápidamente a la fase mesofílica. Además se observaron aumentos de temperatura atribuidas al volteo cada 15 días en todos los tratamientos.

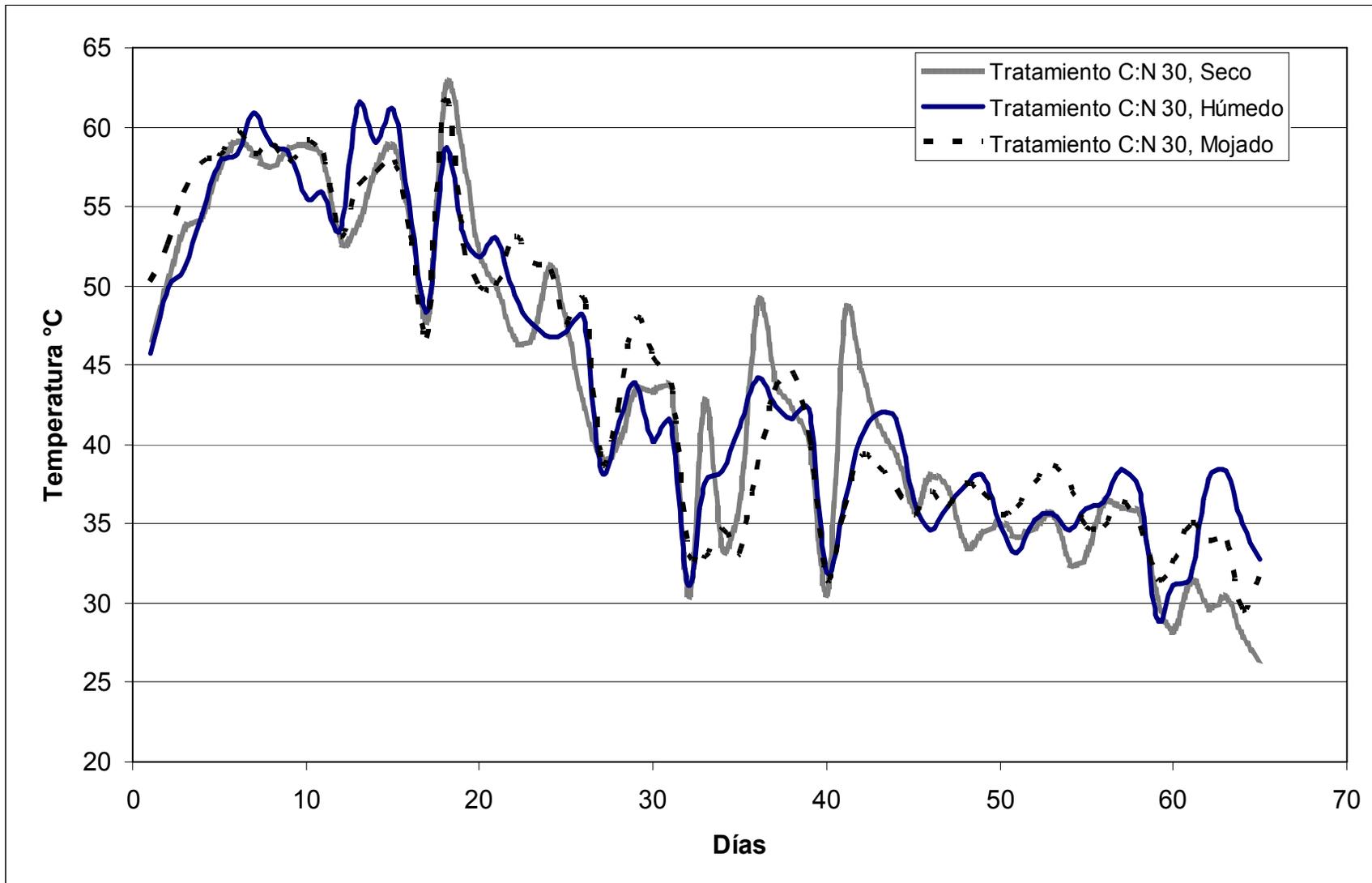


Figura 1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 30:1.

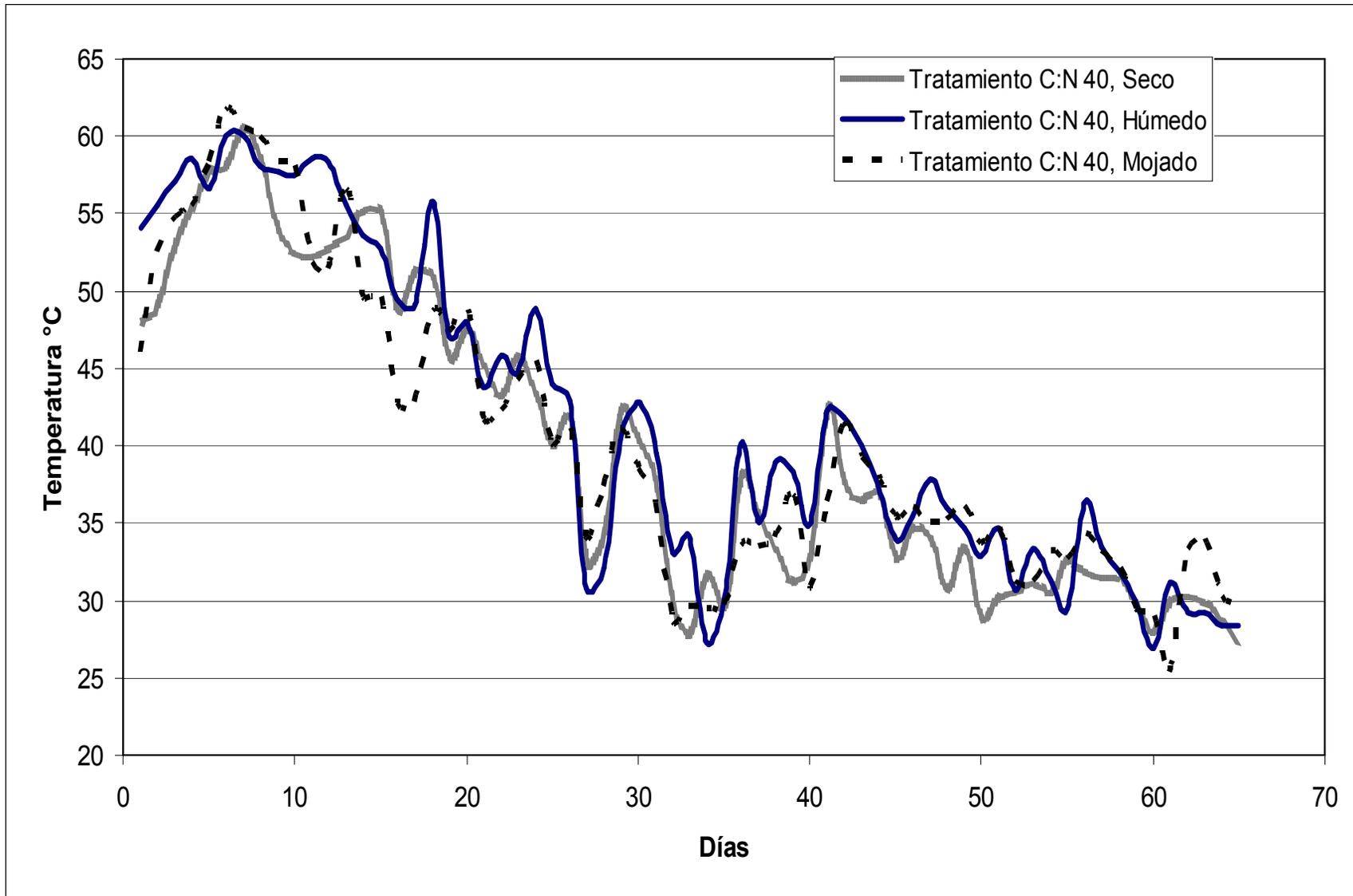


Figura 2. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 40:1.

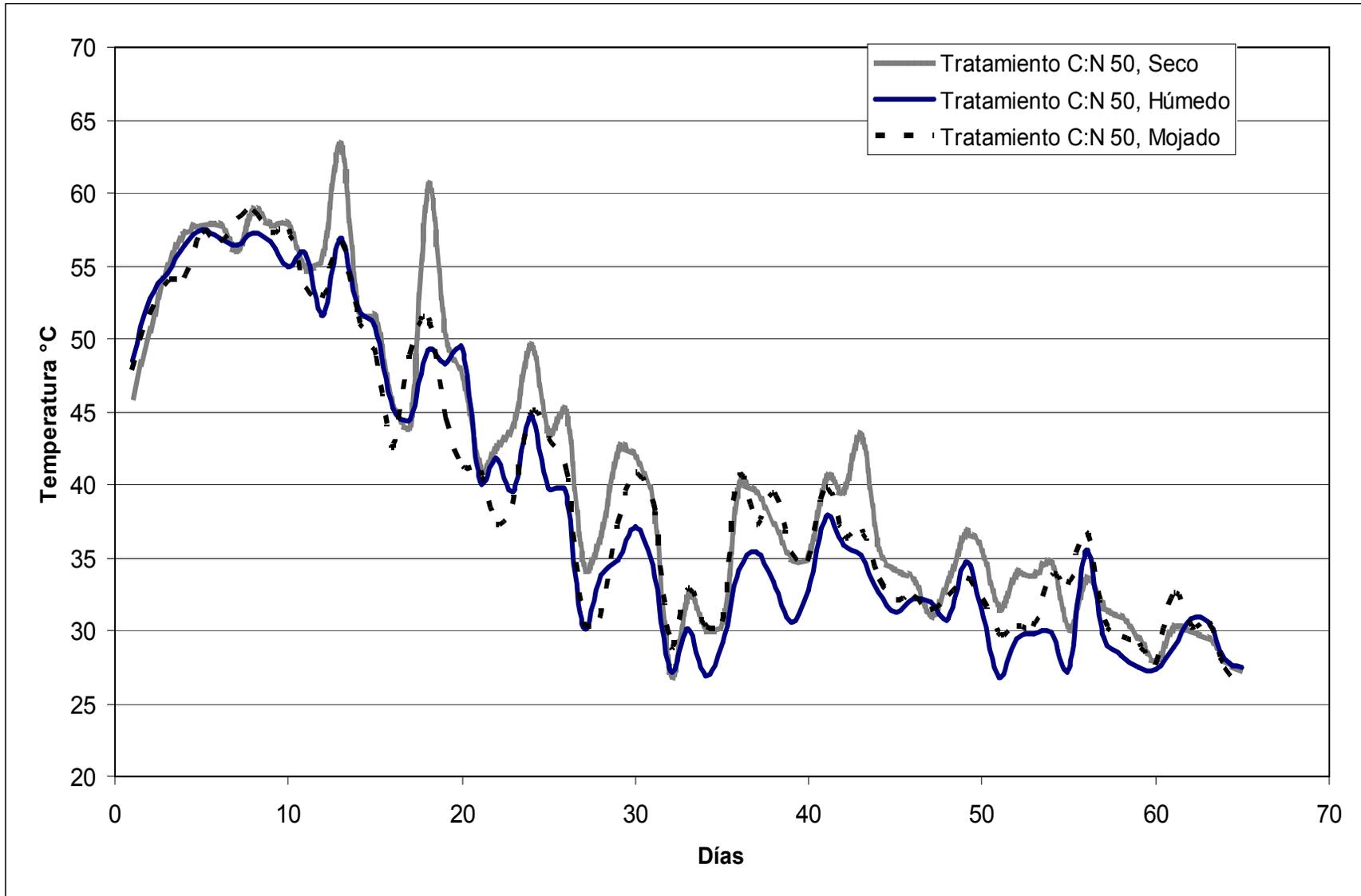


Figura 3. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación 50:1.

Producto maduro e inmaduro

La relación C:N inicial influyó en la cantidad de producto maduro que se cosechó después del tamizado. Los tratamientos con relación C:N 30 tuvieron un rendimiento mayor con 87.9 kg comparado con los tratamientos de C:N 40 y 50, con 68.8 y 64.2 kg, respectivamente; los cuales no difirieron entre si (Cuadro 5). Posiblemente la diferencia se debió a que los desechos del comedor y el estiércol (fuentes de nitrógeno) estaban en mayor proporción en este tratamiento (C:N 30). Por otro lado, el producto inmaduro fue mayor en la relación C:N 50, lo cual tuvo un efecto significativo sobre la cantidad cosechada con 214.6 kg, sobre el tratamiento con relación C:N 30 con 175.5 kg (Cuadro 5). En cuanto a la humedad, esto no tuvo efecto ($P \geq 0.05$) en ninguno de los tratamientos (Cuadro 6).

Rendimientos

Los tratamientos con relación C:N 30 presentaron mayores rendimientos de compost maduro con 33.6%, comparados con los tratamientos con relaciones 40 y 50 con rendimientos de 25.3% y 23.3%, respectivamente (Cuadro 5). Los tratamientos mojados tuvieron mayor rendimiento con 36.4% comparados con los compost secos y húmedos con rendimientos de 24.1% y 26.7%, respectivamente, los cuales no tuvieron diferencia entre sí (Cuadro 6). Esta diferencia puede deberse a la cantidad aplicada a las pilas mojadas.

En general los rendimientos fueron bajos. Pudo deberse a la fuente de carbono (olotes) ya que tenían un tamaño mayor al deseado para realizar el compost. Esta condición tampoco permitió tener una medición más apropiada de la humedad, por lo que la diferencia en humedad se manejó inicialmente en términos de la cantidad de agua regada, y no como se había planeado, según la textura, lo que se hizo cuando se tuvo un tamaño de partícula más pequeño. La reducción en volumen de las materias primas fue la misma para todos los tratamientos y fue de 75%. El producto maduro tuvo una densidad aparente de 0.6 t/m^3 y el producto inmaduro de 0.25 t/m^3 .

Cuadro 5. Rendimiento de compost según relación C:N.

Relación C:N	kg/pila		% Rendimiento en peso
	Maduro	Inmaduro	
30	87.9 ^a	175.5 ^b	33.6 ^a
40	68.8 ^b	202.2 ^{ab}	25.3 ^b
50	64.2 ^b	214.6 ^a	23.3 ^b

^a y ^b medias con diferente letra difieren estadísticamente a $P < 0.05$ según Tukey.

Cuadro 6. Rendimiento de compost según humedad.

Humedad de la pila	kg/pila		% Rendimiento en peso
	Maduro	Inmaduro	
Seco	68.3	212.9	24.1 ^b
Húmedo	68.8	192.9	26.7 ^b
Mojado	83.9	186.5	36.4 ^a

^ay^b medias con diferente letra difieren estadísticamente a $P < 0.05$ según Tukey.

Análisis financiero

Se estableció el valor del compost como fertilizante y su aporte en nutrientes en 100 kg de compost, equivalente a 0.17 m³. Tomando en cuenta los elementos nitrógeno (1.22%), fósforo (1.05%) y potasio (1.08%) aportados por el compost y los fertilizantes más comunes usados en Zamorano (Cuadro 7). El compost aporta un equivalente en fertilizante de US\$11.12/ 100 kg. Este valor es sin tomar en cuenta los micro-nutrientes que aporta (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn).

Cuadro 7. Análisis del aporte de compost (100 kg) como fertilizante.

Fertilizante	Aporte (kg)			Fertilizante a usar (kg)	Precio fertilizante (US\$/ kg) [€]	Valor compost (US\$ /100 kg)
	N	P	K			
KNO ₃	0.32	0	1.08	2.45	1.9	4.66
MAP	0.24	1.05	0	2.19	2.1	4.60
Urea	0.66	0	0	1.43	1.3	1.86
Total	1.22	1.05	1.08			11.12

[€] precios de fertilizantes a julio de 2008

Para estimar el costo de producción del compost en la unidad hortícola de Zamorano (Cuadro 8), no se tomó en cuenta el valor de las materias primas porque estos eran desechos. El costo total de 2651.74 kg de compost, fue de US\$143.07; por lo que el costo de 100 kg de compost fue de US\$ 5.40.

Cuadro 8. Costo de producción de compost en la unidad hortícola de Zamorano.

Descripción	Cantidad	Horas	Costo/hora (US\$)	Mano de obra	Total (US\$)
Volteo	4	4	0.57	5	45.60
Tamizado	1	12	0.57	8	54.72
Riego	3	1	0.57	1	1.71
Formación	2	6	0.57	6	41.04
Total				20	143.07

CONCLUSIONES

- El compost con relación C:N 30 presenta mejores rendimientos de producto maduro con 33.6%, comparados con los de relaciones C:N 40 y 50 que tuvieron 25.3 y 23.3%, respectivamente.
- Los rendimientos de producto maduro, en las pilas mojadas fueron mejores con 36.4%, comparado con las pilas secas y húmedas con 24.1% y 26.7%, respectivamente.
- El contenido promedio de de macro-nutrientes del compost fue de: N (1.22%), P₂O₅ (1.05%) y K₂O (1.08%). También se encontraron aportes de nutrientes como: Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn.
- No existió ninguna interacción significativa en cuanto a C:N×humedad en este experimento.
- El aporte de N, P y K en 100 kg de compost tiene un valor equivalente de fertilizante de US\$ 11.12/ 100 kg. Además de tener otros aportes de micro-nutrientes, materia orgánica y mejoramiento de la estructura del suelo.
- Los perros y zopilotes pueden ser factores externos que pueden afectar el proceso de compostaje
- Dentro de los desechos de comedor que llegan diariamente a la compostera se encuentran partes de la vajilla del comedor estudiantil y plásticos; materiales no orgánicos que dificultan el proceso.

RECOMENDACIONES

- Evaluar mezclas con otros materiales como lo pueden ser desechos de jardines, desechos de granos y hortalizas.
- Evaluar el efecto de diferentes humedades sobre el contenido de potasio.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 1988. Asociación de Amigos del País de Guatemala; Centro Regional de Ayuda Técnica II (RTAC-II), proyecto de la Agencia para el Desarrollo Internacional del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Dalzell, H. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. FAO.

REOTEMP Instruments, 2006. Temperature Instruments (en línea). Disponible en www.reotemp.com; consultado 18 de mayo de 2008

Richard, T. 2008. Cornell Composting Science Website-Science and Engineering. Disponible en http://www.css.cornell.edu/compost/Composting_homepage.html; consultado Junio de 2008.

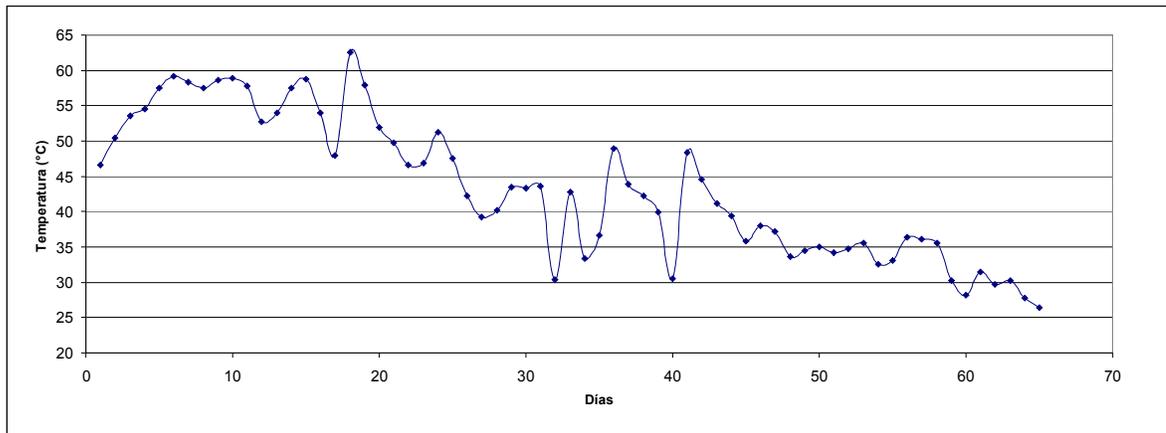
SAS Institute. SAS/STST User's Guide, Version 9.1.3; SAS Inst.: Cary, NC 2002-2003

Tandon H. y Roy R. 2004. Integrated Nutrient Management - A Glossary of Terms, FAO. Disponible en http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index_es.jsp?term=c380&letter=C; consultado 4 de septiembre 2008.

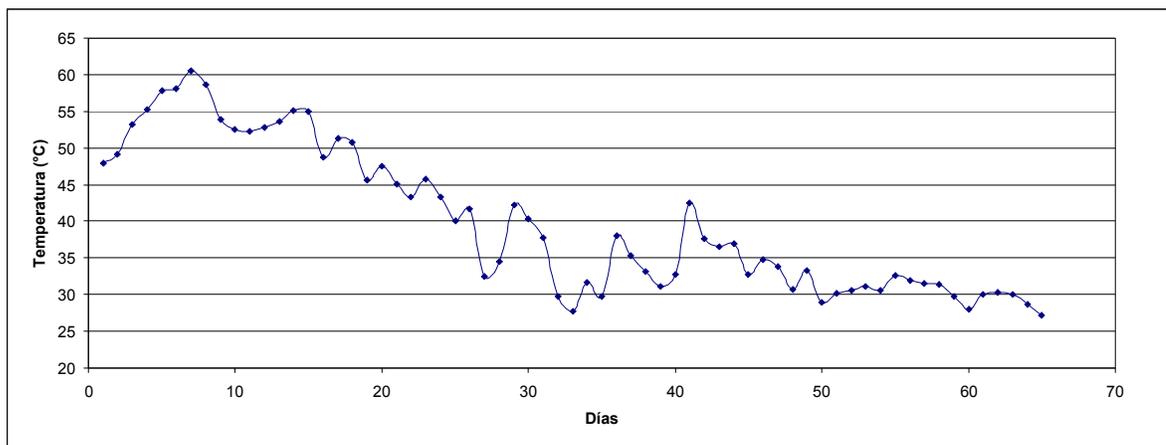
Van Horn, M. 1995. Compost production and utilization. California Department of Food and Agriculture and University of California.

ANEXOS

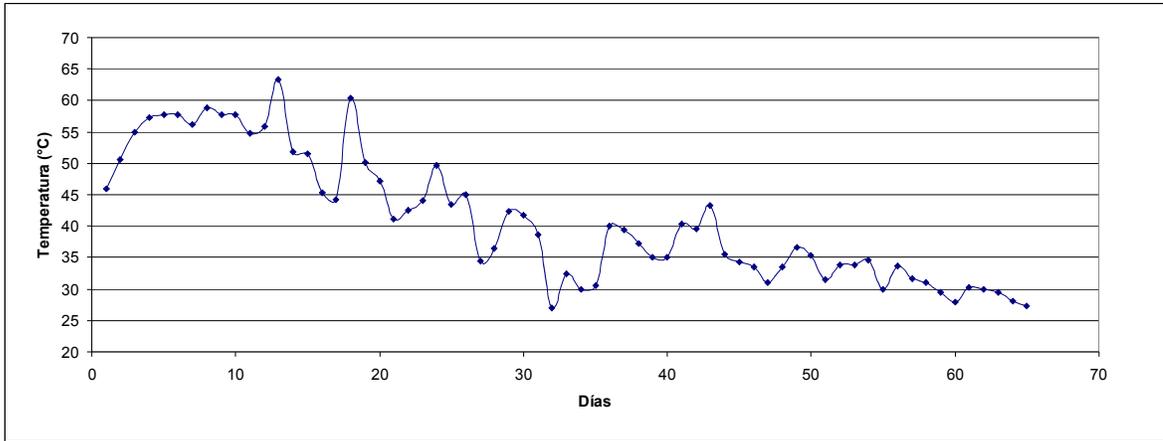
Curvas de temperatura de los nueve tratamientos.



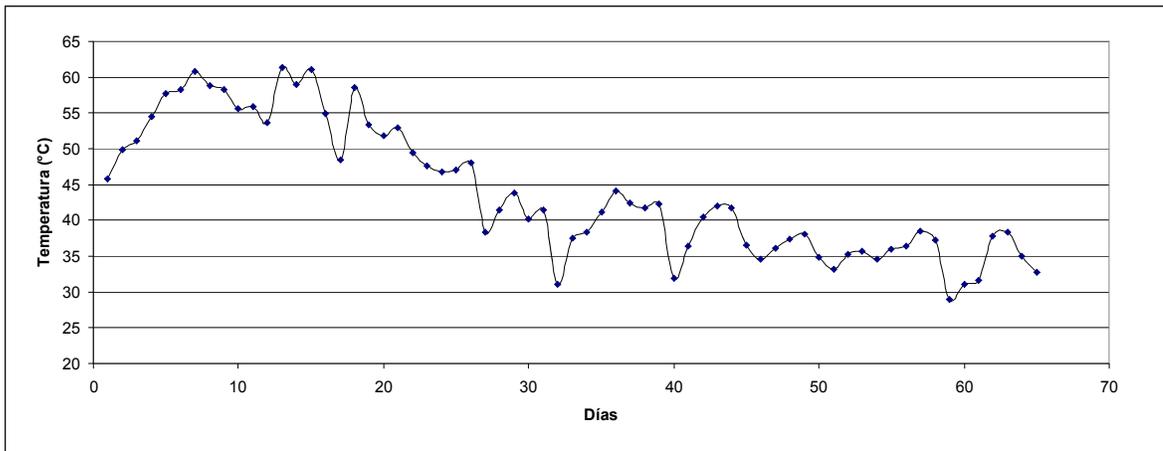
Anexo 1. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 seco.



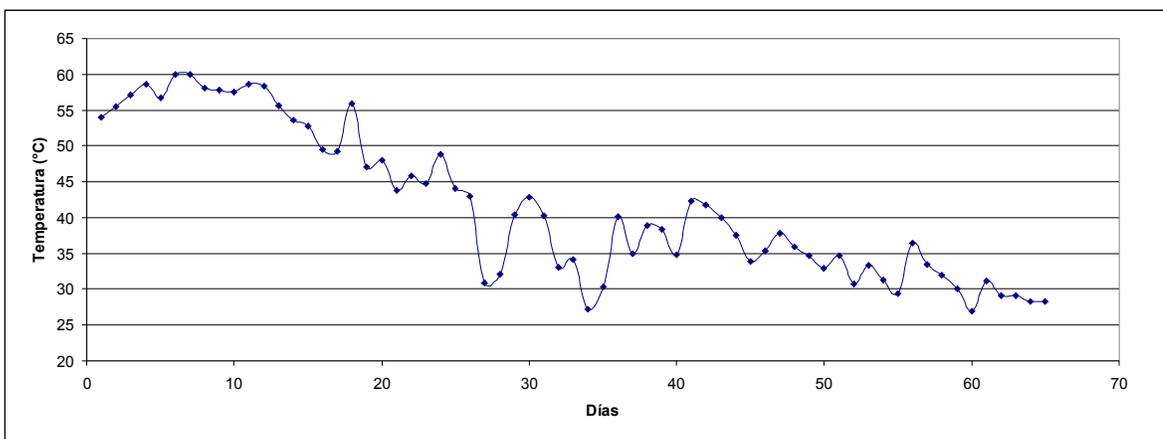
Anexo 2. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 seco.



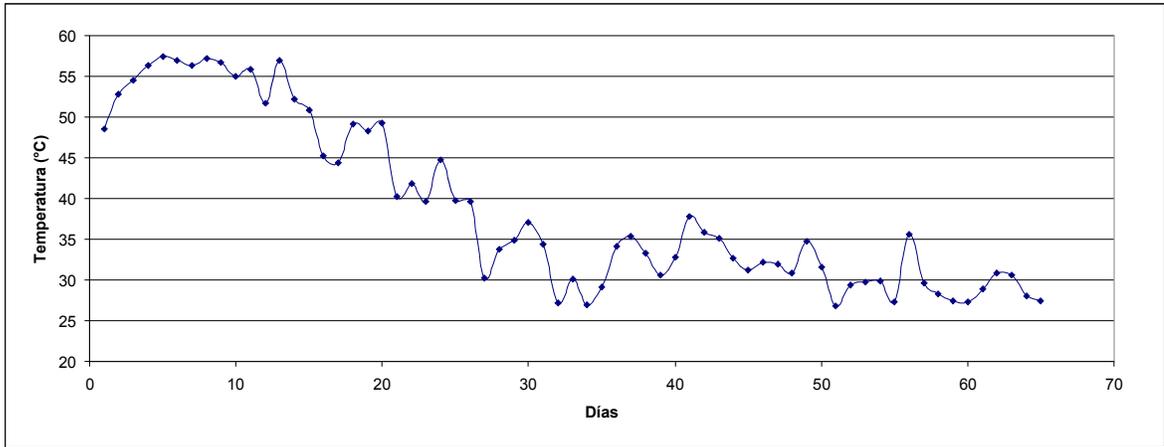
Anexo 3. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 seco.



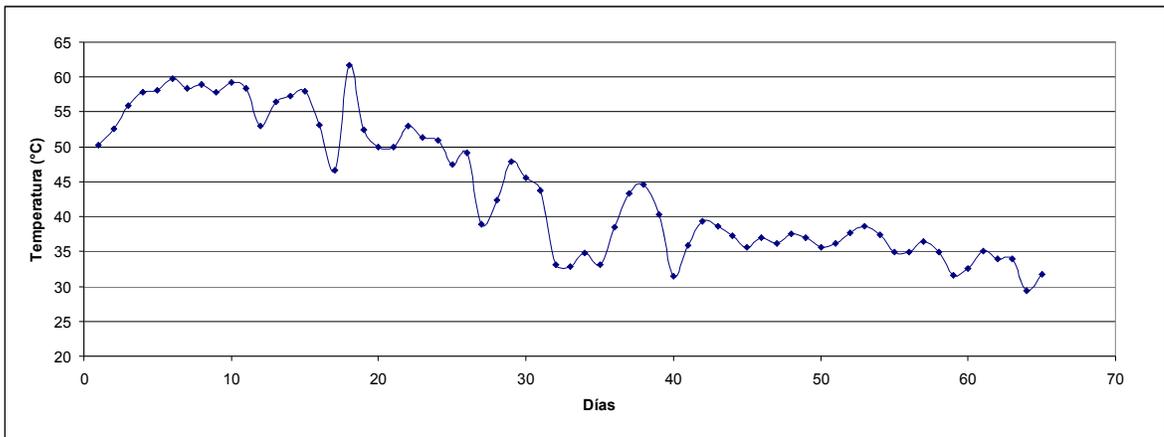
Anexo 4. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 húmedo.



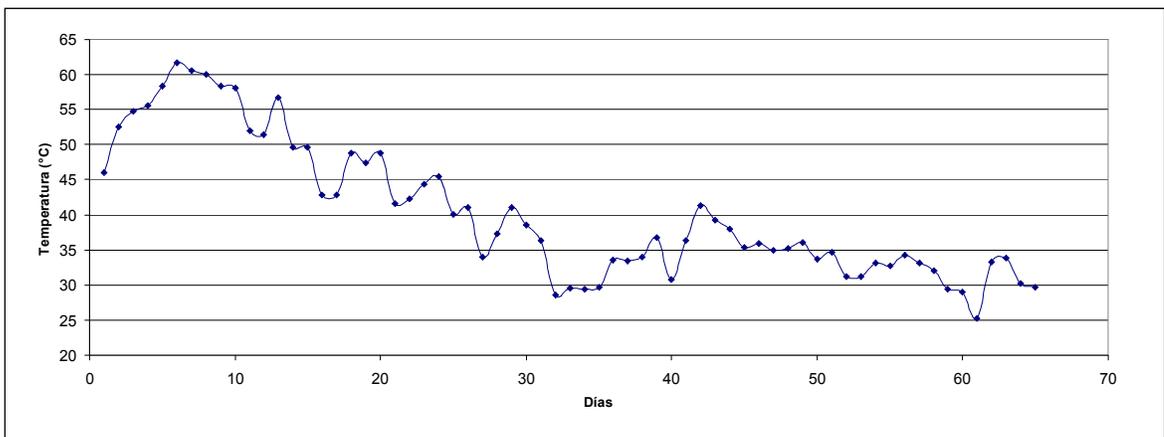
Anexo 5. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 húmedo.



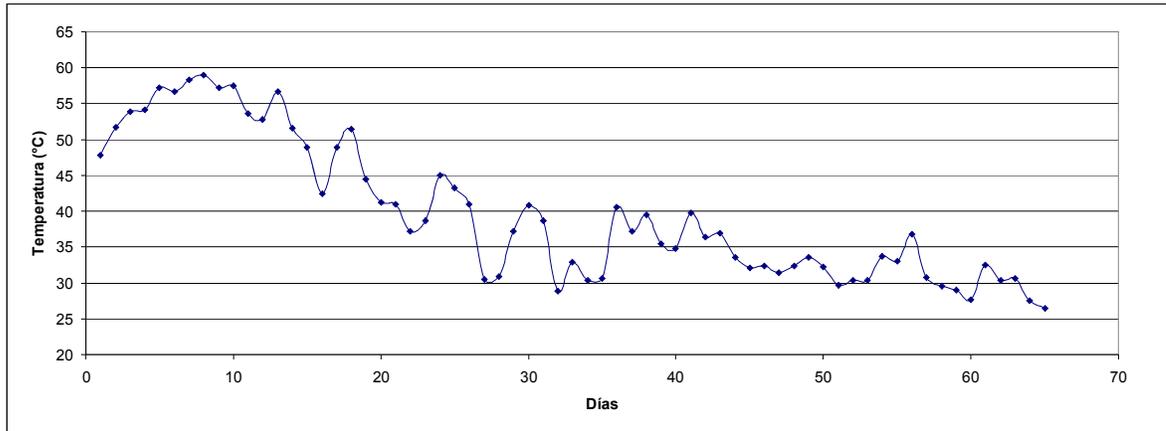
Anexo 6. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 húmedo.



Anexo 7. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 30 mojado.



Anexo 8. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 40 mojado.



Anexo 9. Variación de la temperatura en el proceso de compostaje en material relación C:N 50 mojado.