

Efecto del uso de tres tipos de aceleradores biológicos en el compostaje de residuos orgánicos de mercados, parques y jardines de Arequipa

Effect of the use of three types of biological accelerators in the composting of organic waste from markets, parks and gardens in Arequipa

Roberto Carlos Loayza Dueñas

rldaqp@gmail.com – Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa

Raúl Omar Gallegos Jara

rgallegosj@unsa.edu.pe – Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa

Recibido el 20/09/20 | Aceptado el 05/10/20

DOI: <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.124>

Resumen

El presente trabajo plantea evaluar el efecto de tres tipos de aceleradores biológicos (bazofia de camal, vísceras de pescado y microorganismos eficaces) en el compostaje de residuos de mercados, parques y jardines y pescaderías. El fin de esta evaluación es obtener una mejora en la elaboración y calidad del compost producido, para ser usado como abono orgánico en el mantenimiento de parques y jardines, logrando una valorización mejorada de los residuos generados en dichos espacios. Para ello se probaron 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. El tratamiento 1 (T1), usó microorganismos eficientes; en el tratamiento 2 (T2) se usó bazofia de camal; en el tratamiento 3 (T3) se usó vísceras de pescado; y el tratamiento 4 (T4) fue el testigo y fue adicionado con ningún acelerador. Durante el proceso de compostaje se evaluaron parámetros como; pH, temperatura y humedad, siendo, obteniéndose los siguientes resultados; la fase termofílica se inició a los 4 días de conformadas las pilas de compostaje, se obtuvo temperaturas mayores a 55 °C por al menos 14 días, lo que asegura un buen proceso de higienización, En la evaluación de la temperatura se observa que el proceso con adición de vísceras de pescado (T3) alcanza temperaturas mayores y durante más tiempo en la fase termofílica, lo que permite tener una mayor seguridad de higienización del producto. Por la misma razón este proceso aseguraría la ausencia de semillas de malezas en el producto. La calidad del compost final se evaluó en base a los parámetros: pH, conductividad eléctrica, humedad, relación C/N, porcentaje de materia orgánica (M.O.), porcentaje de carbono total, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de fósforo (como P₂O₅), porcentaje de potasio (como K₂O), también se determinó el rendimiento y tiempo de compostaje, y para evaluar la higienización del compost se hizo un análisis de contenido de patógenos, obteniendo los siguientes resultados: En cuanto al tiempo de compostaje, el tratamiento T3 (vísceras de pescado) demoró más tiempo en estabilizarse, lo cual indicaría un mayor tiempo de acción microbiana. Con respecto a la calidad nutricional, el proceso con vísceras de pescado muestra mayores contenidos de nitrógeno, potasio y fósforo. Finalmente, los efectos más importantes del inóculo de microorganismos eficientes, además del aporte de flora benéfica, es que produce un pH neutro, y reduce el tiempo de compostaje.

Palabras claves: *Compost, aceleradores biológicos, calidad de compost, microorganismos eficaces.*

Como citar: Loayza-Dueñas, R.C. & Gallegos-Jara, R.O. (2020). Efecto del uso de tres tipos de aceleradores biológicos en el compostaje de residuos orgánicos de mercados, parques y jardines de Arequipa. NAWPARISUN – Revista de Investigación Científica, 3(1), 23-36.

Abstract

The present work aims evaluate the effect of three types of biological accelerators (slaughterhouse slop, fish viscera and effective microorganisms) in the composting of waste from markets, parks and gardens and fishmongers. The purpose of this evaluation is to obtain an improvement in the preparation and quality of the compost produced, to be used as organic fertilizer in the maintenance of parks and gardens, achieving an improved recovery of the waste generated in said spaces. For this, 4 treatments were tested with 3 repetitions each. Treatment 1 (T1), used efficient microorganisms; in treatment 2 (T2) slaughterhouse slop was used; in treatment 3 (T3) fish viscera were used; and treatment 4 (T4) was the control and was added with no accelerator. During the composting process, parameters such as; pH, temperature and humidity, being, obtaining the following results; the thermophilic phase began 4 days after the composting piles were formed, temperatures greater than 55 ° C were obtained for at least 14 days, which ensures a good sanitization process, In the temperature evaluation it is observed that the process with the addition of fish viscera (T3) it reaches higher temperatures and for a longer time in the thermophilic phase, which allows greater hygiene of the product. For the same reason, this process would ensure the absence of weed seeds in the product. The quality of the final compost was evaluated based on the parameters: pH, electrical conductivity, humidity, C / N ratio, percentage of organic matter (OM), percentage of total carbon, percentage of total nitrogen, percentage of phosphorus (as P₂O₅) , percentage of potassium (as K₂O), the yield and composting time were also determined, and to evaluate the sanitation of the compost an analysis of pathogen content was carried out, obtaining the following results: Regarding the composting time, the T3 treatment (fish viscera) took longer to stabilize, which would indicate a longer time of microbial action. Regarding nutrient quality, the process with fish viscera shows higher nitrogen, potassium and phosphorus contents. Finally, the most important effects of the inoculum of efficient microorganisms, in addition to the contribution of beneficial flora, is that it produces a neutral pH and reduces composting time.

Keywords: *Compost, biological accelerators, compost quality, effective microorganisms.*

Introducción

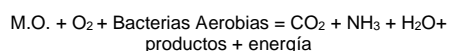
Se presenta los resultados de la evaluación del proceso de compostaje, usando residuos sólidos orgánicos vegetales y estiércol de vacuno, adicionados con tres distintos aditivos aceleradores del proceso; microorganismos eficientes, bafosia de vacuno y vísceras de pescado

Procesos Biológicos en el compost

El compostaje de materia orgánica de desecho, normalmente comprende residuos vegetales y residuos animales.

Los residuos de origen vegetal principalmente están compuestos de hidratos de carbono (azúcares y almidones entre 1 al 5% , hemicelulosa entre 10 a 28 % y celulosa entre 20 y 50 %); grasas, ceras, taninos, y otros entre 1 a 8 %; ligninas entre 10 a 30 %; y proteínas entre 1 al 15%. Los residuos de origen animal principalmente contienen; proteínas, azúcares, almidón, entre otros, en cantidades variables según su origen.

En el proceso de compostaje se presentan principalmente procesos biológicos aeróbicos que se pueden representar por la ecuación:



Los principales microorganismos responsables del proceso de compostaje son: hongos, actinomicetos y bacterias, junto con la micro, meso y macrofauna (ácaros, hormigas, cien pies, arañas, etc).

Tales microorganismos actúan en cuatro fases, según la evolución de la temperatura:

Fase mesófila 1 (10 – 40 °C). El proceso comienza a temperatura ambiente y en ella se desarrollan microorganismos mesofílicos, que degradan la materia orgánica. Tal degradación metabólica de los carbohidratos asimilables (azúcares y almidón), produce ácidos orgánicos que provocan un descenso del pH. Asimismo, los restos de proteínas son metabolizados, produciendo procesos de nitrificación y oxidación de compuestos de azufre. Como consecuencia de tales procesos, y conforme avanza la acción microbiana, la temperatura se incrementa hasta unos 40-45° C, lo cual puede suceder en horas o días de iniciado el proceso.

Fase termófila (40 a 75 °C). En esta fase, las bacterias mesofílicas son inhibidas, y dan paso al desarrollo de las bacterias termófilas, que se desarrollan a temperaturas mayores a 40°C pudiendo actuar hasta 65 °C ó 70 °C. Esta flora degrada las moléculas complejas como celulosa y lignina y transforman el nitrógeno en amoníaco, originando que el pH se eleve. Esta fase también se conoce como fase de

higienización ya que a temperaturas mayores a 55 °C se destruyen los microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatogenos y semillas de maleza, dando lugar a un producto inocuo (Roman *et. al.*, 2013).

Fase mesófila 2 (> 40 °C). Una vez que los microorganismos termófilos, han agotado las fuentes de carbono y nitrógeno disponibles, cesan su actividad, y las temperaturas descienden hasta los 40 °C, donde nuevos microorganismos mesófilos degradan los restos de celulosa y lignina, provocando un leve descenso del pH, pero manteniéndose en el rango alcalino (Roman *et. al.*, 2013).

Fase de maduración. Transcurre a temperatura ambiental y demora meses, durante la cual se forman los ácidos húmicos y fúlvicos, continuando el proceso de mineralización de la materia orgánica.

La biodegradación de los carbohidratos y sustancias nitrogenadas, producen entre otros; cambios en el pH y la salinidad del material, que pueden servir para hacer seguimiento del proceso de transformación.

El pH durante el compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso. En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la formación de NH₃ el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

La salinidad medida como conductividad eléctrica (C.E.), tiende al aumento durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, puede ocurrir un descenso de la conductividad eléctrica, cuando hay efecto de lavado debido a la adición del agua, usada normalmente para mantener la humedad (Bueno *et. al.*, 2011).

Aditivos para acelerar el proceso de compostaje

En el proceso de compostaje pueden adictivos como; activadores e inoculantes, que sirven para acelerar el proceso y su uso se justifica debido a la gran variedad y calidad de los materiales usados para elaborar el compost, lo cual dificulta el llegar a los rangos ideales de las variables del proceso.

Los activadores, permiten acelerar el proceso de compostaje, permitiendo elevar la temperatura de la pila, lo que asegura la destrucción de microorganismos patógenos, y de las semillas de malezas que suelen estar presentes en los restos vegetales y animales. Para esto los activadores generalmente

contienen nitrógeno extra, lo cual reduce la relación C/N inicial, lo cual redundando en un mayor crecimiento microbiano. Los inoculantes, contienen principalmente microorganismos, que favorecen el proceso de compostaje, para tal fin se puede usar; compost maduro reciclado en dosis de 1 a 2 %, lo cual suministrará microorganismos aclimatados a los desechos frescos dispuestos en una nueva pila, pudiendo usarse inóculos de bacterias fijadoras de nitrógenos, entre otros, pero también se pueden usar los llamados microorganismos eficaces (ME).

Estos ME, son una combinación de varios tipos de microorganismos dentro de los que destacan tres grupos; los fototrópicos, bacterias ácido lácticas y levaduras, cada una de las cuales tienen efectos benéficos específicos sobre las plantas.

Los fototrópicos, como *Rhodospseudomonas spp.* son bacterias que pueden sintetizar; aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares a partir de materia orgánica y/o gases como el CO₂. Tales metabolitos pueden ser absorbidos por las plantas y también actúan como sustrato para otros microorganismos benéficos simbióticos. En este grupo también hay hongos de micorrizas y bacterias *Azotobacter* y *Rizobium*, que son fijadoras del nitrógeno atmosférico.

Las levaduras utilizan los carbohidratos sintetizados por las fototrópicas para sintetizar sustancias antimicrobianas y hormonas que promueven la división celular y el crecimiento radical de las plantas.

Las bacterias ácido lácticas producen lactato a partir de los carbohidratos, producidos por las bacterias fototrópicas y levaduras. Además, el ácido láctico ayuda a la descomposición de materiales complejos como la lignina y la celulosa, y es un compuesto esterilizante capaz de eliminar los microorganismos patógenos, como *Fusarium*, y reducen las poblaciones de nemátodos, todo lo cual induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos.

Materiales y métodos

Se realizaron 4 tratamientos, para cada uno de los cuales se construyó 3 pilas de compostaje, aplicando un diseño experimental de boques completos al azar (DBCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Se utilizan tres aditivos y un testigo (sin acelerador), según el siguiente criterio: el tratamiento 1 (T1) se inocula con microorganismos eficientes, el tratamiento 2 (T2) se aditiva con bazofia de camal, el tratamiento 3 (T3) se aditiva con vísceras de pescado y el tratamiento 4 (T4) testigo, sin acelerador.

Materiales

Los residuos orgánicos de origen vegetal se obtuvieron en el mercado metropolitano de la plataforma comercial "Andrés Avelino Cáceres", de las podas en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, y del mercado de flores "Virgen de Chapi". Los de origen animal comprende; estiércol de vacuno de un establo local, las vísceras de pescado del mercado pesquero El Palomar, y la bazofia de camal, del Camal "Don Goyo". El inoculante EM-Compost de Bio-EM SAC, se adquirió en las tiendas de agroquímicos locales.

El EM compost se activó disolviendo 1 litro del producto en 17 litros de agua sin cloro y añadiendo 1 litro de melaza y se puso a reposar por 7 días, hasta un pH de 4.

Esta solución se inocula, diluyendo 6 litros en 14 litros de agua sin cloro, obteniéndose una solución de 20 litros, los cuales son aplicados luego a cada una de las 3 pilas que conforman el tratamiento (T1), esta dosificación se repite durante el volteo de las pilas.

Para el caso de bazofia y de restos de pescado se usó un tercio del peso de los residuos orgánicos de cada pila.

Procedimiento

Conformación de pilas de compost

Armado de pilas de compostaje

Las pilas se conformaron con residuos vegetales y animales (RVA), para lo cual se arman alternando las capas de residuos vegetales (previamente molidos a tamaños menores a 20 cm) sobre las de estiércol, humedeciendo cada capa, y encima de cada capa de estiércol se adicionó el acelerador. Cada pila contaba con una base de 1.7 m de largo y 1,5 m de ancho, una altura de 1.2 m.

Cálculo de las relaciones de C/N inicial

Se buscó uniformizar la relación C/N y la humedad, a los valores de: C/N de 21.6 y humedad inicial de 51.6 a partir de la composición teórica de los residuos, realizando los cálculos con las siguientes ecuaciones:

$$C/N = \frac{Q_1 \times C_1 \times (100 - M_1) + Q_2 \times C_2 \times (100 - M_2) + \dots + Q_n \times C_n \times (100 - M_n)}{Q_1 \times N_1 \times (100 - M_1) + Q_2 \times N_2 \times (100 - M_2) + \dots + Q_n \times N_n \times (100 - M_n)}$$

Donde:

Q = es la cantidad de material a compostar, C= % de Carbono total, N=% de Nitrógeno total

M = % de Humedad

La humedad de mezcla, se determinó con la ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{Q_1 \times M_1 + Q_2 \times M_2 + \dots + Q_n \times M_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}$$

Realizados los cálculos se obtuvo que, el proceso de compostaje se inició con una.

Las pilas quedaron conformadas de la siguiente manera:

Tabla 1.
Composición de las pilas de compostaje por tratamiento

Clave del tratamiento	Residuos Vegetales (en kg)				Residuos Animales (en kg)	Peso total (kg)	Peso de la U.E. + Acelerador (en kg)
	Restos de Verduras	Restos de Frutas	Restos de Parques y Jardines	Restos de Flores	Estiércol Vacuno		
T1 (RVA+ ME)	143.00	65.00	70.20	75.40	166.40	520.00	526.00
T4 (RVA)	143.00	65.00	70.20	75.40	166.40	520.00	693.33
T3 (RVA+VP)	143.00	65.00	70.20	75.40	166.40	520.00	693.33
T2 (RVA+BC)	143.00	65.00	70.20	75.40	166.40	520.00	520.00

Donde: T1 (RVA + ME) = Tratamiento 1, constituido por Restos Vegetales y Animales (RVA), usando como acelerador Microorganismos Eficaces (ME); T2 (RVA + BC) = Tratamiento 2, constituido por Restos Vegetales y Animales, usando como acelerador Bazofia de Camal (BC); T3 (RVA + VP) = Tratamiento 3, constituido por Restos Vegetales y Animales, usando como acelerador Vísceras de Pescado (VP); T4 (RVA) = Tratamiento 4 - testigo, constituido por Restos Vegetales y Animales sin acelerador

Evaluación del compost

Se evalúa la variación de la temperatura, el pH y la humedad durante el proceso de compostaje. La temperatura, se midió con un termómetro digital con varilla, haciendo lecturas a 20, 30 y 90 cm. El proceso terminó cuando la temperatura en las pilas de compostaje se estabilizó en valores cercanos a la ambiental.

El rendimiento se determinó dividiendo el peso de la pila de compostaje entre el peso final del compost.

Los parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad de compost se construyeron en base a los siguientes documentos:

- El manual de la FAO de título *Manual de compostaje del agricultor* cuyos autores son Roman, Martínez y Pantoja, elaborado el año 2013.
- La Norma Chilena 2880:2015 de título *Compost requisitos de calidad y clasificación* del Instituto Nacional de Normalización del año 2015.
- La tesis de la Universidad Agraria de la Molina de título *Elaboración de criterios técnicos de calidad para la producción de compost* cuyos autores son Añaños Vega, Lozano Rossini y Santa Cruz Urdanivia de año 2004.

Con dichos documentos se estableció los valores máximos y mínimos de los parámetros, para la evaluación de la calidad del compost, lo cual se muestra a continuación:

Tabla 2.
Parámetros de evaluación de calidad de compost

Parámetro	Unid.	Referencia NCh 2880:2015*	Referencia FAO**	Referencia Añaños Vega et. al. (2004)***	Rango de Calidad Final
Humedad	%	30.00 - 45.00	30.00 - 40.00	-----	30.00 - 45.00
pH	----	5.00 - 8.50	6.50 - 8.50	-----	5.00 - 8.50
Conductividad Eléctrica	mS/cm	-----	-----	≤ 4.00	≤ 4.00
Materia Orgánica	%	≥ 20.00	≥ 20.00	≥ 20.00	20.00 - 50.00
Nitrógeno	%	≥ 0,50	1.00	-----	0.40 - 3.50
Fósforo como P ₂ O ₅	%	-----	-----	0.30 - 3.50	0.30 - 3.50
Potasio como K ₂ O	%	-----	-----	0.50 - 1.80	0.50 - 1.80
Relación C/N	-----	≤ 25.00	10.00 - 15.00	-----	10.00 - 25.00

Nota. Fuente: Elaboración a partir de las siguientes referencias:

* Compost requisitos de calidad y clasificación, Instituto Nacional de Normalización de Chile (2015)

** Manual de compostaje del agricultor, Roman et. al., (2013)

*** Elaboración de criterios técnicos de calidad para la producción de compost (2004)

Para la evaluación de los parámetros microbiológicos de inocuidad del compost, se usó los límites establecidos en la Norma Chilena 2880:2015, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.
Requisitos sanitarios para compost

Tipo de microorganismo	U.M.	Límite máximo
Coliformes fecales	NMP en 1g	< 1000
<i>Salmonella sp.</i>	NMP en 4 g.	< 3
Huevos de Helminto	en 4 g	< 1

Nota. NCh 2880:2015

Evaluación de tiempo y rendimiento

El tiempo de compostaje final se estableció cuando las temperaturas de las pilas se estabilizaron al menos por 3 días y estaban cercanas a la ambiental. Por otro lado, el rendimiento se determinó dividiendo el peso inicial de cada pila entre su peso final y multiplicándolo por 100.

La evaluación estadística de la significancia en la diferencia de los parámetros físico químicos, microbiológicos y el rendimiento se mediante un análisis ANOVA y el test de Duncan a un nivel de significancia del 5 %, aplicando el software estadístico InfoStat-2009.

Métodos de análisis.

Los análisis se realizaron en el laboratorio del INIA-Arequipa (K y P) y en el Laboratorio de bioprocesos del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Agustín, según los siguientes procedimientos:

La salinidad se determinó mediante la conductividad eléctrica, para lo cual se prepara una suspensión en agua en la proporción 1:2.5, y se midió la conductimetría en el multiparámetro InoLab, WTWA1FD56C.

La humedad se determinó por gravimetría, usando una estufa a 105 °C hasta peso constante.

La cantidad de carbono orgánico, se determinó por el método Walkley Black, donde la materia orgánica es oxidada por una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 . El exceso de dicromato de potasio es determinado por titulación con sulfato ferroso usando como indicador el difenil amina sulfúrica, donde el contenido de carbono se obtiene en función al gasto de sulfato ferroso.

La cantidad de materia orgánica se estima, asumiendo que esta contiene el 58 % de carbono, para lo cual se multiplica el porcentaje de carbono orgánico por el factor de Van Bemmelen, que es de 1.72.

El nitrógeno total se determinó por micro-Kjeldahl, usando un digestor Hach.

El pH se determinó preparando una suspensión en agua en proporción 1:2.5, y se mide en un equipo multiparámetro InoLab, WTWA1FD56C.

El fósforo se determinó por el método de Olsen (modificado), usando como extractante una solución de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) de pH 8.5, y solución de ácido sulfúrico, molibdato de amonio, ácido ascórbico, tartrato de potasio y antimonio para el desarrollo de color. La absorbancia se mide con un espectrofotómetro uv-vis Hitachi 2910, previa elaboración de la curva patrón.

El potasio es extraído mediante una solución de sal neutra de acetato de amonio, para luego determinar su concentración en un espectrofotómetro.

Los coliformes fecales, se determinaron por el método del número más probable (NMP) en caldo lauril sulfato de sodio. La *Salmonella*, se determinó usando Agar selectivo *Salmonella – Shiguelia*, y los huevos de helmintos, se determinaron por conteo directo en un microscopio óptico compuesto Zeiss west.

Resultados y discusión

Composición de insumos y aceleradores

Se evalúa la composición de los materiales de inicio, el proceso y la calidad del producto final.

Materiales de inicio

Los resultados del análisis físico químico realizado a los insumos se muestran en la siguiente tabla 04:

Tabla 4.
Resultados de análisis de los insumos usado

Parámetros	Unidad	Residuos Vegetales				Residuos Animales
		Restos de Verdura	Restos de flores	Restos de Frutas	Restos de Parques y Jardines	Estiércol
Humedad	%	76.59	78.24	88.58	7.22	26.75
pH		5.95	5.66	5.34	6.31	9.04
C.E.	mS/cm	11.50	6.65	12.85	6.35	9.20
Materia Orgánica	%	53.66	70.43	67.08	60.37	38.57
Relación C/N		10.40	22.14	16.88	23.72	33.96
C Total	%	31.20	40.95	39.00	35.10	22.42
N Total	%	3.00	1.85	2.31	1.48	0.66
P	%	0.65	0.66	0.91	0.62	2.85
K	%	2.54	2.54	3.14	1.50	3.40

Nota. Donde pH= Concentración de Iones Hidrógeno; C.E. = Conductividad Eléctrica; C Total = Porcentaje de Carbono Total; N Total = Porcentaje de Nitrógeno Total; P = Porcentaje de Fósforo; K = Porcentaje de Potasio

De igual manera se procedió al análisis de los aceleradores:

Tabla 5.
Resultados del análisis de los aceleradores

Parámetros	Unidad	Vísceras de Pescado	Bazofia de Camal
Humedad	%	66.99	28.22
pH		6.12	6.78
C.E.	mS/cm	13.76	1.90
Materia Orgánica	%	67.08	21.80
Relación C/N		4.94	14.09
C Total	%	39.00	12.68
N Total	%	7.90	0.90
P	%	4.63	0.72
K	%	0.90	0.40

Nota. Donde: pH= Concentración de Iones Hidrógeno; C.E. = Conductividad Eléctrica; C Total = Porcentaje de Carbono Total; N Total = Porcentaje de Nitrógeno Total; P = Porcentaje de Fósforo; K = Porcentaje de Potasio

Evaluación del proceso.

Interesa especialmente evaluar la variación de la temperatura como indicador del desarrollo de las fases del compostaje y el pH como indicador de la evolución de la materia nitrogenada.

Variación de la temperatura en el proceso

Se aplican los cuatro tratamientos con RVA (restos vegetales y animales), adicionados con: T1 (ME, microorganismos efectivos), T2 (BC, bazofia de camal), y T3 (VP vísceras de pescado) y T4 (Testigo). Se mide la temperatura media (de las 3 réplicas para cada tratamiento) a lo largo de 123 días. Los resultados se muestran en la figura 01.

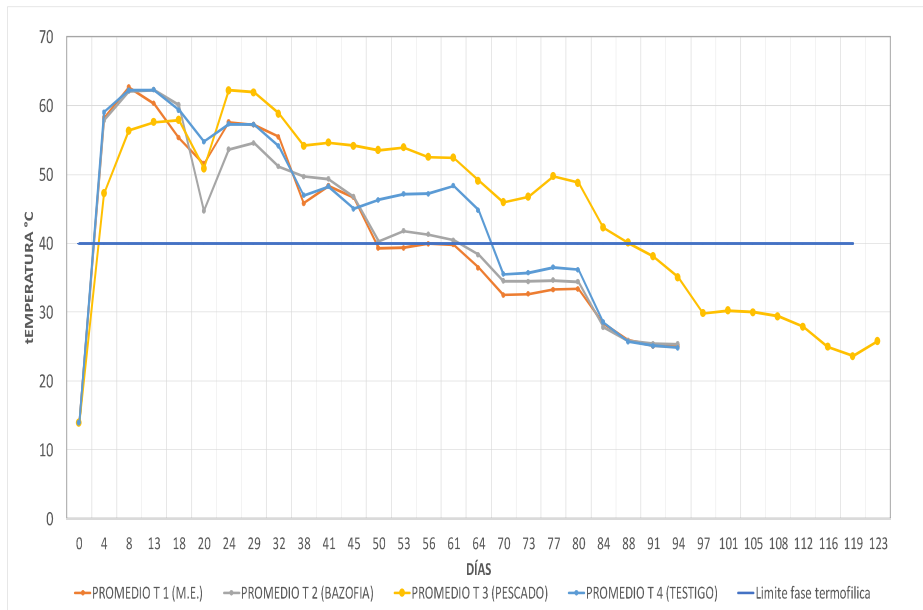


Figura 1. Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje por tratamiento

Se observa que, en todos los casos, la primera fase mesofílica, dura 4 días, al cabo de los cuales se inicia la fase termofílica. La evolución de las curvas en la fase termofílica tiene un valle en el día 20, cuando se realizó el volteo de las pilas para mantener la humedad requerida.

Para corregir la distorsión mencionada se realiza un ajuste de todas las curvas a funciones polinómica de grado 6, en el cual todas las curvas presentan valores del índice de determinación $R^2 \geq 91$, obteniéndose lo siguiente:

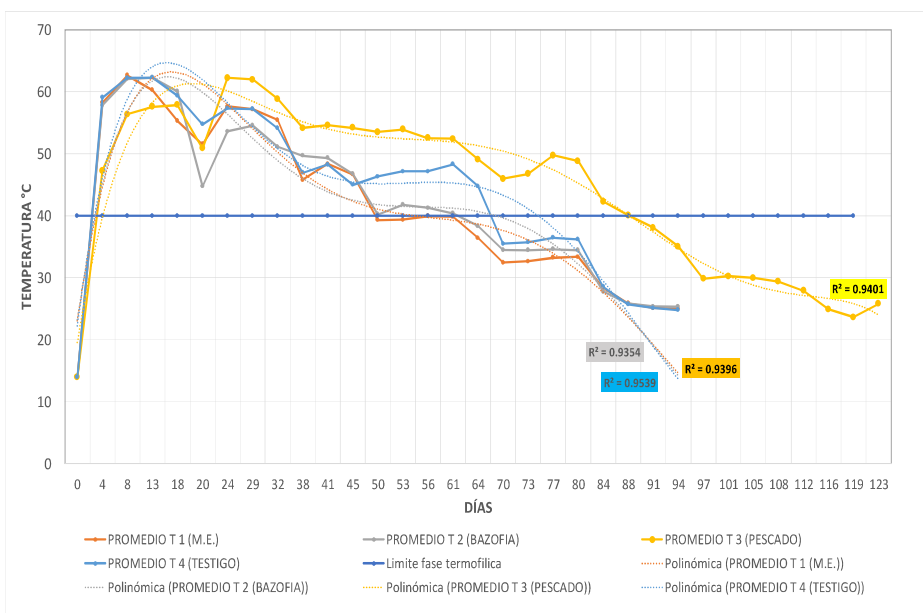


Figura 2. Curvas de temperatura con valores ajustados

También se observa que la fase termofílica (más de 40 °C) transcurre; en el caso del tratamiento T3 desde el día 4 hasta el día 88, con una duración de 84 días. En el tratamiento T4 desde el día 4 hasta el día 64, con una duración de 60 días; en el tratamiento T2 desde el día 4 hasta el día 61 con una duración de 57 días; y en el tratamiento T1 desde el día 4 hasta el día 45, con una duración de 41 días.

En todos los casos se observa que las temperaturas del proceso en la fase termofílica transcurren a más de 55°C, por lo menos desde el día 10 hasta el día 26-27, alcanzando tiempos de higienización de al menos 14 días. Lo cual es un indicador del adecuado control de los parámetros de compostaje, que redundan en una fuerte actividad metabólica de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Las mayores temperaturas en el tratamiento del compost adicionado con vísceras de pescado, se puede explicar por el mayor contenido de materia nitrogenada y por tanto una menor relación C/N, que redundan en una mayor tasa de crecimiento de la biomasa microbiana.

Variación del pH en el proceso

Los resultados de las medidas de pH promedio (de las 3 réplicas por tratamiento) durante los días del proceso se muestran en la figura 03

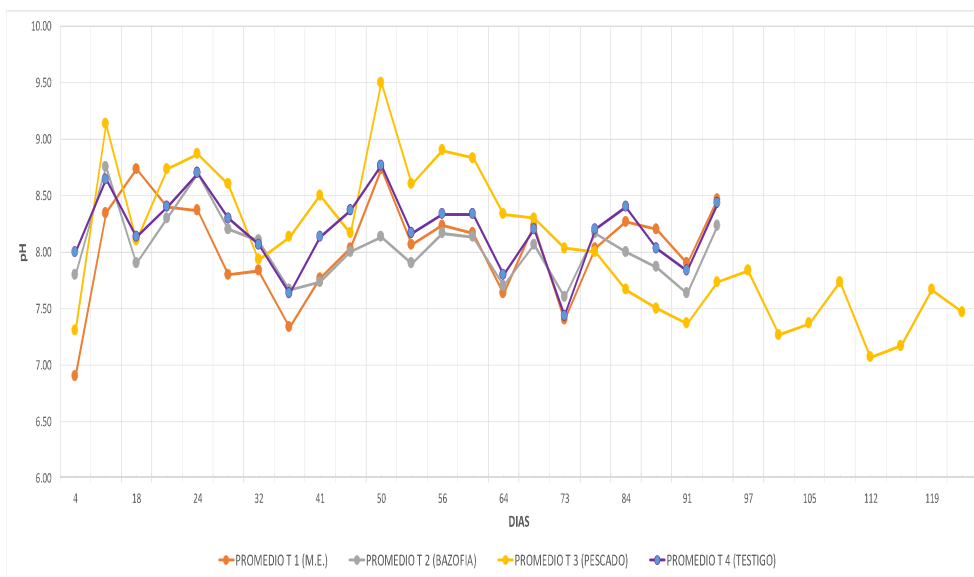


Figura 3. Variación del pH durante el proceso

El proceso se inicia con pH promedio de ≥ 7.5 , siendo en el tratamiento T1 (con microorganismos eficientes) el del valor más bajo (pH = 6.90), lo cual se explica por el hecho que el inóculo tiene un pH ácido (pH=4.0), derivado de la actividad de las bacterias lácticas, productoras de ácido láctico. Durante la fase termofílica todos los tratamientos, presentan valores alcalinos, que disminuye luego, durante la fase mesofílica, para estabilizarse en pHs entre 7 a 8, cercanos a la neutralidad, después del día 100 aproximadamente.

El tratamiento T3 (vísceras de pescado) tuvo valores más altos hasta el día 73, pero al final del proceso alcanzó un pH de 7.47, el más bajo. Esto se explica por el hecho que el mayor contenido en material proteico deriva en una mayor producción de amoníaco.

Por otro lado, el pH del tratamiento 1 (T1) que usa el inóculo de microorganismos efectivos, se inicia en valores menores a los demás, pero luego se iguala con los demás tratamientos, lo cual indica que la población de bacterias lácticas se hace mínima frente a las otras especies de flora microbiana, posiblemente debido al agotamiento de los carbohidratos fácilmente disponibles como los azúcares, que le sirven de sustrato a tales bacterias.

Sin embargo, en todos los casos, los valores del pH están dentro del rango recomendado establecido para su monitoreo (6.5 a 8.5).

Evaluación del producto

Concentración de iones hidrogeno (pH)

Los valores medios del pH promedio en los productos finales, son: T1=8.42, T2=7.93, T3= 8.32 y T4=8.68. Para determinar si estos valores tienen diferencia estadísticamente significativa se aplica la prueba de Duncan al 95% de confianza (significancia 0.05), usando el software estadístico InfoStat, cuyos resultados se muestran en la tabla 06.

Tabla 6.
Resultados de la prueba de Duncan para pH

Tratamiento	pH Promedio	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T4 (RVA)	8.68	a
T1 (RVA + ME)	8.42	b
T3 (RVA + VP)	8.32	b
T2 (RVA + BC)	7.93	c

Se observa que; los valores de pH para los tratamientos T1 y T3 no muestran diferencia significativa al 5% (representados por b y b), en cambio estos si tienen diferencia significativa con los tratamientos T4 y T2 (representados por a y c).

El tratamiento T4 (prueba testigo), presenta el valor de pH más alto, lo que se explica por el hecho de contener menor materia nitrogenada y la ausencia de microorganismos acidificantes, como lactobacterias.

El tratamiento T2 (vísceras de pescado) con un registro de 7.93 es el más bajo y más cercano a la neutralidad, lo que se explica por el hecho de haber producido la mayor descomposición de la materia nitrogenada con liberación de amoníaco, como se observó en la evolución del pH durante el proceso.

Salinidad (Conductividad eléctrica)

Los valores de conductividad encontrados son: T1= 4.82 mS/cm, T2= 4.26 mS/cm, T3= 8.41 mS/cm, y T4=7.69 mS/cm.

Para evaluar la significancia de las diferencias en tales valores se aplica la prueba de Duncan, obteniéndose la tabla 07

Tabla 7.
Resultados de la prueba de Duncan para conductividad

Tratamiento	C.E. Promedio (en mS/cm)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T3 (RVA + VP)	8,41	a
T4 (RVA)	7,67	a
T1 (RVA + ME)	4,82	b
T2 (RVA + BC)	4,26	b

El análisis muestra que los resultados de conductividad para los tratamientos T3 y T4, son estadísticamente iguales (a y a), y los valores para el producto obtenido en los tratamientos T1 y T2, son iguales entre sí (b y b). Sin embargo, hay diferencia significativa entre ambos grupos de resultados. Los valores bajos de salinidad indican un fuerte efecto de lavado de minerales, y una menor capacidad de retención de los mismos por parte del compost.

Se observa que hay una relación directa entre los valores de conductividad de los insumos iniciales, con los del producto final.

El valor obtenido en el tratamiento T3 es el mayor, que está en relación directa con el de las vísceras de pescado que tenían una conductividad de 13.76 mS/cm, caso contrario del tratamiento T2 (bazofia de camal) que tiene la conductividad eléctrica más baja, con un valor de 1.90 mS/cm. También se puede inferir que los microorganismos eficientes ejercen influencia en la conductividad eléctrica del tratamiento T1, probablemente debido a los menores pH que mantiene en la primera fase que contribuyan a la liberación de los minerales.

Porcentaje de humedad

Los resultados de promedios de humedad en el compost, muestra los siguientes resultados: T1= 37.21 %, T2= 39.86%, T3= 49.02 % y T4=44.08%. Se aplica la prueba de significancia de Duncan y se obtiene la tabla 08

Tabla 8.
Prueba de Duncan para la humedad

Tratamiento	Humedad Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T3 (RVA + VP)	49,02	a
T4 (RVA)	44,08	a b
T2 (RVA + BC)	39,86	b
T1 (RVA + ME)	37,21	b

Los resultados muestran que al 5% de significancia, el tratamiento T4 tiene una humedad intermedia entre todos los tratamientos, sin embargo, existe diferencia significativa entre los tratamientos T2 y T1 (b y b) contra T3, donde T3 es el que mantiene mayor humedad. Sin embargo, este factor no reviste mayor importancia, debido a que puede ser corregido con facilidad en el producto final, con un mayor secado o la adición de humedad.

Contenido de nitrógeno total

Este parámetro indica el potencial nutritivo del compost, y los resultados muestran los siguientes valores: T1= 0.71%, T2=0.75%, T3= 1.20 % y T4=0.92%. Aplicando la prueba de Duncan se obtienen los resultados de la tabla 09.

Tabla 9.
Prueba de Duncan para resultados del contenido de nitrógeno

Tratamiento	Nitrógeno Total Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T3 (RVA + VP)	1.20	a
T4 (RVA)	0.92	b
T2 (RVA + BC)	0.75	c
T1 (RVA + ME)	0.71	c

Los datos muestran diferencia significativa entre los tratamientos T2 y T1 contra los tratamientos T3 y T4, donde el tratamiento T3 muestra el mayor contenido de nitrógeno total, mientras que los tratamientos T2 y T1 tienen los menores valores de este elemento.

El contenido de nitrógeno en el compost final se atribuye al aporte de nitrógeno de los aceleradores y/o al efecto de los mismos en el proceso de descomposición, por lo que el valor obtenido en el tratamiento T3, (registro más alto),

se puede explicar por el hecho que las vísceras de pescado tienen el mayor contenido de nitrógeno, el cual es de 7.90 %. Asimismo, el contenido más bajo le corresponde a la bazofia de camal con un valor de 0.90 %, lo cual se corresponde también con los valores iniciales de nitrógeno en el acelerador.
Contenido de fósforo (como % de P₂O₅)

El contenido de fósforo es importante para la calidad nutriente del compost, en el producto final de las pilas, se obtuvieron los siguientes resultados: T1= 0.19 %, T2= 0.18%, T3= 0.37% y T4= 0.21%. Aplicando la prueba de significancia de Duncan, se obtiene la tabla 10.

Tabla 10.
Resultados de la prueba de Duncan para el contenido de fósforo

Tratamiento	Fósforo (P ₂ O ₅) Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T3 (RVA + VP)	0.37	a
T4 (RVA)	0.21	b
T1 (RVA + ME)	0.19	b c
T2 (RVA + BC)	0.18	c

La tabla, muestra el contenido promedio de fósforo (como % P₂O₅) del compost final, donde el tratamiento T3 (vísceras de pescado) con un contenido de fósforo de 0.37 % es el mayor, superando estadísticamente a los demás tratamientos.

El contenido de fósforo en el compost final está relacionado con el aporte de fósforo de los aceleradores y/o al efecto de los mismos en el proceso de descomposición, lo cual concuerda con lo mencionado por Stofella y Kahn (2005). En ese sentido el valor obtenido en el tratamiento T3 se podría explicar porque el acelerador (vísceras de pescado), tiene el contenido más alto de fósforo con un valor de 4.63 %, asimismo, el contenido más bajo le corresponde a la bazofia de camal con un valor de 0.72 %.

Contenido de potasio (como % de K₂O)

Este mineral, solo puede provenir de las materias primas, y los resultados obtenidos son: T1= 1.53 %, T2=1.38%, T3=1.98% y T4=1.96%. Aplicando la prueba de Duncan se tiene los valores de la tabla 11.

Tabla 11.
Resultados de la prueba de Duncan para contenido de potasio

Tratamiento	Potasio (K ₂ O) Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T3 (RVA + VP)	1.98	a
T4 (RVA)	1.96	a
T1 (RVA + ME)	1.53	b
T2 (RVA + BC)	1.38	b

La tabla, muestra que los tratamientos T3 y T4, son estadísticamente iguales entre sí, y lo mismo sucede entre los tratamientos T1 y T2. Sin embargo, entre ambos grupos si hay diferencia estadísticamente significativa.

El tratamiento T3 (vísceras de pescado) con un contenido de potasio de 1.98 % está relacionado con el aporte del acelerador a la mezcla inicial, y puede explicarse debido a que las vísceras de pescado tienen el mayor contenido de potasio, con un valor de 0.90 %.

Relación C/N

La relación C/N, es un indicativo del poder nutriente del compost elaborado, en los productos obtenidos se observa los siguientes resultados: T1=10.11, T2=12.07, T3=11.75 y T4=11.43. Efectuando el análisis de significancia se obtiene los datos de la tabla 12.

Tabla 12.
Resultados del análisis de Duncan sobre la relación C/N

Tratamiento	Relación C/N Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T2 (RVA + BC)	12.07	a
T3 (RVA + VP)	11.75	a
T4 (RVA)	11.43	a
T1 (RVA + ME)	10.11	a

Se observa que el tratamiento T2 (bazofia de camal) con 12.07, obtiene el registro más alto de C/N más alta y el valor más bajo le corresponde al tratamiento T1 (microorganismos eficientes) con 10.11, sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas a la luz de la prueba de Duncan.

Adicionalmente, cabe observar que, aunque todos los tratamientos iniciaron el proceso con valores C/N calculado de 21.6, este valor ha descendido hasta aproximadamente la mitad en el producto final, lo cual sólo se puede explicar por la producción de CO₂, lo cual termina igualando la relación C/N con mayor o menor intensidad sin llegar a ser estadísticamente significativas tales diferencias.

Tiempo de compostaje

El tiempo que duró el proceso de compostaje en el caso de los tratamientos T1, T2 y T4 fue de 94 días, mientras que en el tratamiento T3 (vísceras de pescado) duró 123 días, lo que indica que, debido al alto contenido de nitrógeno del acelerador, el proceso puede mantener la microbiota por mayor tiempo en crecimiento, usando para tal fin el nitrógeno del sustrato como fuente de generación de biomasa.

Rendimiento

Este parámetro es importante en la medida que puede afectar la economía del proceso, los cuatro tratamientos arrojaron los siguientes resultados: T1=65.32%, T2=65.49%, T3=59.61% y T4=48.77 % del producto inicial. Aplicando a estos datos la prueba de Duncan se obtiene la tabla 13.

Tabla 13.
Resultados del análisis de significancia de Duncan sobre el rendimiento

Tratamiento	Rendimiento Promedio (en %)	Diferencia entre promedios al 5% de Significancia
T2 (RVA + BC)	65.49	a
T1 (RVA + ME)	65.32	a
T3 (RVA + VP)	59.61	a
T4 (RVA)	48.77	b

La tabla, muestra que el tratamiento 2 (bazofia de camal) con un rendimiento de 65.49 %, el tratamiento T1 (microorganismos eficaces) con 65.32 % y el tratamiento T3 (vísceras de pescado) con 59.61 %, son los más eficientes, no existiendo entre ellos diferencias significativas de eficiencia. En cambio, el tratamiento T4 (testigo) presenta un rendimiento significativamente menor, lo cual indica que hay una mayor conversión de materia orgánica en CO₂ y agua.

Contenido de patógenos

Este parámetro es muy importante, en la medida que la presencia de patógenos puede afectar negativamente en los cultivos, al mismo tiempo que constituye un riesgo para su manipulación. Los resultados obtenidos en todos los casos indican ausencia de huevos de helmintos y ausencia de Salmonella, mientras que la presencia de coliformes termotolerantes es en todos los casos menores a 1.80 NMP/g, como se observa en la tabla 14.

Tabla 14.
Resultados del conteo de patógenos en el producto

Tratamiento	Coliformes Fecales (en NMP/g)	Salmonella (ausencia en 25 g)	Huevos De Helminto (ausencia en 1 g)
T1 (RVA + ME)	< 1.80	Ausencia	Ausencia
T2 (RVA + BC)	< 1.80	Ausencia	Ausencia
T3 (RVA + VP)	< 1.80	Ausencia	Ausencia
T4 (RVA)	< 1.80	Ausencia	Ausencia
Compost comercial	< 1.80	Ausencia	Ausencia
*Límite máximo	< 1000	Ausencia	Ausencia

Los resultados muestran que las temperaturas a las cuales se mantuvieron las pilas de compostaje durante la fase termofílica fueron suficientes para lograr la higienización del producto.

Evaluación de la calidad del compost

En la tabla 15 se muestra la comparación de los parámetros de calidad versus los parámetros obtenidos del producto final

Tabla 15.
Evaluación de la calidad del compost por tratamiento

Tratamiento	pH	C.E. mS/m	Humedad %	M.O. %	N Total %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	Relación C/N
T1 (RVA + ME)	8.42	4.82	37.21	12.30	0.71	0.19	1.53	10.11
T2 (RVA + BC)	7.93	4.26	39.86	15.65	0.75	0.18	1.38	12.07
T3 (RVA +VP)	8.32	8.41	49.02	24.37	1.20	0.37	1.98	11.75
T4 (RVA)	8.68	7.67	44.08	18.11	0.92	0.21	1.96	11.43
Valor Mínimo de Calidad	5.00	≤ 4.00	30.00	> 20.00	0.40	0.30	0.50	10.00
Valor máximo de calidad	8.50	-----	45.00	< 50.00	3.50	3.50	1.80	25.00

Nota. Donde: T1 (RVA + ME) = Tratamiento 1, constituido por Restos Vegetales y Animales, usando como acelerador Microorganismos Eficaces; T2 (RVA + BC) = Tratamiento 2, constituido por Restos Vegetales y Animales, usando como acelerador Bazofia de Camal; T3 (RVA + VP) = Tratamiento 3, constituido por Restos Vegetales y Animales, usando como acelerador Vísceras de Pescado; T4 (RVA) = Tratamiento 4, constituido por Restos Vegetales y Animales, muestra testigo sin acelerador
* Los valores máximos y mínimos de calidad fueron tomados de la Tabla 02

La tabla muestra los siguientes resultados por parámetro de calidad:

- pH: Solo el tratamiento T4 (testigo), esta fuera del rango de calidad establecido.
- Conductividad eléctrica: Todos los tratamientos exceden el valor máximo de calidad establecido, es decir tiene exceso de sales, los tratamientos T1 y T2 son los que más se acercan al valor recomendado.

- Humedad: El tratamiento T3 (vísceras de pescado) es el único con un registro de humedad por encima del valor máximo de calidad establecido.
- Materia orgánica: el tratamiento T3 (vísceras de pescado) es el único que tiene un contenido de materia orgánica, por encima del mínimo requerido.
- Nitrógeno: Todos los tratamientos tuvieron un contenido de nitrógeno que está dentro del rango de calidad.
- Contenido de fósforo: Solo el tratamiento T3 (vísceras de pescado) está por encima del valor mínimo de calidad establecido.
- Contenido de potasio: Los tratamientos T1 (microorganismos eficaces) y T2 (bazofia de camal) están dentro del rango de calidad establecido.

Conclusiones

En la evaluación de la temperatura se observa que el proceso con adición de vísceras de pescado (T3) alcanza temperaturas mayores y durante más tiempo en la fase termofílica, lo que permite tener una mayor seguridad de higienización del producto. Por la misma razón este proceso aseguraría la ausencia de semillas de malezas en el producto.

En cuanto al tiempo de compostaje, el tratamiento T3 (vísceras de pescado) demoró más tiempo en estabilizarse, lo cual indicaría un mayor tiempo de actividad microbiana.

En cuanto a la calidad nutricional, el proceso con vísceras de pescado muestra mayores contenidos de nitrógeno, potasio y fósforo, lo cual se debe al aporte de estos nutrientes en el insumo de pescado. Los efectos más importantes del inóculo de microorganismos eficientes además del aporte de flora benéfica, son que produce un pH neutro, y reduce el tiempo de compostaje.

Referencias bibliográficas

- Añaños Vega, R., Lozano Rossini, O., y Santa Cruz Urdanivia, Y. (2004). *Elaboración de criterios técnicos de calidad para la producción de compost*. Optativo de Profesionalización en Gestión Calidad y Auditoría Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Bueno, P., Díaz, M., y Francisco, C. (2011). Factores que afectan al compostaje. En J. Moreno y R. Moral (eds.), *Compostaje*. Madrid: Mundiprensa. Recuperado el 01 de Diciembre de 2019, de <https://digital.csic.es/handle/10261/20837>
- Instituto Nacional de Normalización. (27 de agosto de 2015). NCh 2880-2015: "Compost requisitos de calidad y clasificación". Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <https://www.inn.cl/>
- Roman, P., Martinez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. FAO: Santiago de Chile.
- Stofella, P. J., y Kahn, B. A. (2005). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa.