

Eficacia del inóculo encapsulado en proceso de compostaje de residuos agropecuarios

Diana Mercedes Andrade Loor¹; Aquiles Elías Avellán Realpe¹;
Diego Efrén Zambrano Pazmiño¹; Ángel Monserrate Guzmán Cedeño^{1,2}

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia del inóculo microbiano encapsulado en pilas de compostaje de residuos agropecuarios. Las pilas se prepararon con una mezcla de 100 kg de estiércol de gallinas ponedoras y 200 kg de cáscara de maní, las variantes del inóculo fueron: T1 (200 g de cápsulas), T2 (400 g de cápsulas), T3 (600 g de cápsulas) y un testigo (sin inóculo). Durante el proceso de compostaje se analizaron los parámetros físicos, químicos y biológicos del sustrato. Como resultado se obtuvo que todas las pilas mostraron temperaturas superiores a 55°C. El valor de pH en las pilas con inóculo fue ligeramente alcalino en el rango de 7.6 a 8.2, mientras que los valores de CE oscilaron entre 1.03 a 1.58 dS m⁻¹. Por otro lado, el contenido de humedad osciló entre el 55 y 60%. Los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor % Materia orgánica, contenido de macronutrientes e índice de germinación, a diferencia que T2 presentó el mayor contenido de Fe y Mn. Se concluye que los tratamientos con adición del inóculo microbiano presentaron indicadores físico, químicos y de fitotoxicidad de categoría A.

Palabras claves: Sucesión microbiana, comunidades microbianas, hidrólisis enzimática, metabolitos fitotóxicos.

Efficacy of encapsulated inoculum in the composting process of agricultural waste

Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficacy of the microbial inoculum encapsulated in composting piles of agricultural waste. The piles were prepared with a mixture of 100 kg of laying hen manure and 200 kg of peanut shell, the inoculum variants were: T1 (200 g of capsules), T2 (400 g of capsules), T3 (600 g of capsules) and a control (without inoculum). During the composting process, the physical, chemical and biological parameters of the substrate were analyzed. As a result, it was obtained that all the piles showed temperatures above 55°C. The pH value in the inoculum piles was slightly alkaline in the range of 7.6 to 8.2, while the EC values ranged from 1.03 to 1.58 dS m⁻¹. On the other hand, the moisture content ranged between 55 and 60%. Treatments T2 and T3 presented the highest % organic matter, macronutrient content and germination index, unlike T2 presented the highest content of Fe and Mn. It is concluded that the treatments with the addition of the microbial inoculum presented physical, chemical and category A phytotoxicity indicators.

Keywords: Microbial succession, microbial communities, enzymatic hydrolysis, phytotoxic metabolites.

Recibido: 10 de enero de 2024

Aceptado: 10 de octubre de 2024

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", 10 de agosto N°82 y Granada Centeno. Calceta, Manabí, Ecuador, diego.zambrano@espam.edu.ec 2

² Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Ciudadela universitaria vía San Mateo. Manta, Manabí, Ecuador.

Diana Mercedes Andrade Loor
<https://orcid.org/0000-0002-6493-9311>

Aquiles Elías Avellán Realpe
<https://orcid.org/0000-0002-5433-1898>

Diego Efrén Zambrano-Pazmiño
<https://orcid.org/0000-0001-6249-709X>

Ángel Monserrate Guzmán Cedeño
<https://orcid.org/0000-0003-2360-7051>

I. INTRODUCCIÓN

Las gallinas ponedoras pueden satisfacer la demanda de huevos, pero al mismo tiempo producen cantidades significativas de estiércol y desechos (Devi *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2019); de igual manera, la actividad agrícola genera abundantes residuos que normalmente se queman en el campo, lo que produce contaminación ambiental y enfermedades respiratorias (Anyanwu *et al.*, 2013). Bajo estas condiciones se tienen que validar alternativas biotecnológicas que permitan una buena gestión de los residuos agropecuarios. Entre las opciones se encuentra el compostaje, el cual es un proceso de descomposición biológica de materiales orgánicos que ocurre en un ambiente predominantemente aeróbico (Bernal *et al.*, 2009).

Durante el proceso de compostaje las condiciones en la mezcla de residuos deben ser adecuadas para la población mixta de microorganismos (principalmente bacterias, hongos y actinomicetos) responsables de la descomposición. Estos microorganismos prosperan en un ambiente cálido, húmedo y aeróbico (rico en oxígeno). Las condiciones adecuadas de humedad y temperatura resultan en una transformación higiénica de los residuos orgánicos, en un material homogéneo y disponible para las plantas (Christian *et al.* 2009). El producto final (compost) debe ser beneficioso para el adecuado desarrollo de las plantas, motivo por el cual la fitotoxicidad debe reducirse por completo (Insam & De Bertoldi, 2007).

Actualmente se están comercializando los inoculantes como aceleradores de la descomposición de los residuos orgánicos en el compostaje. Estos bioinsumos por lo general contienen microorganismos y un medio en el que pueden desarrollarse (Christian *et al.*, 2009; Amira Dayana *et al.*, 2011; Zhang & Sun, 2015). La adición de inóculo puede tener una influencia positiva en los valores de los parámetros físicos-químicos que controlan la actividad de los microorganismos y la degradación tanto de la celulosa como de la hemicelulosa durante el período termofílico del proceso de compostaje (Ribeiro *et al.*, 2017).

Las condiciones desfavorables de pH, temperatura y conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje podrían inactivar los microorganismos, ocasionando que no cumplan

su función; sin embargo, la encapsulación de ingredientes activos bacterianos y fúngicos, se ha convertido en una práctica común para prolongar su vida útil. Según Krasaekoopt *et al.* (2003) el encapsulado es un método muy utilizado debido a su facilidad, simplicidad, bajo costo y condiciones de formulación suaves que garantizan una alta retención de la viabilidad celular.

La adición de encapsulados de bacterias y hongos en el compostaje de estiércol de gallinas ponedoras con cáscara de maní puede proporcionar beneficios para el ambiente y en lo económico. Entre los beneficios del compostaje a partir de estos residuos están: eliminación de patógenos, estabilización microbiana, reducción de volumen y humedad, remoción y control de olores, producción de fertilizante o sustrato de buena calidad para uso agronómico (Petric *et al.*, 2009). Además de la disminución del tiempo de maduración del compostaje (Abdel-Rahman *et al.*, 2016), y aumentando el grado de humificación y mejora el proceso de compostaje (Wei *et al.*, 2007). Con lo expuesto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia del inóculo microbiano encapsulado en pilas de compostaje de residuos agropecuarios.

II. METODOLOGÍA

Cepas microbianas, condiciones de crecimiento y cultivo

El inóculo microbiano se preparó a partir de microorganismos conservados en el cepario del laboratorio de biología molecular de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí-Ecuador. Se emplearon las cepas de *Bacillus subtilis* (21 BMC, 20 BP, 31 BMC, E-54, 50 BP) y *B. licheniformis* (E-44), que se cultivaron en caldo nutritivo a 37°C durante 18 horas y 180 rpm. El ingrediente activo se recogió mediante centrifugación en frío (4°C) a 6000 rpm durante 5 minutos, se lavó dos veces en solución salina estéril, como lo recomiendan Lotfipour *et al.* (2012) y Jalilpour *et al.* (2017). También se utilizó el hongo *Trichoderma longibrachiatum* que se cultivó en agar papa dextrosa (PDA) a 30°C durante 72 horas, posteriormente las esporas se removieron con Tween 80 al 0,1% (Seoudi, 2013).

Preparación de cápsulas

La solución de alginato de sodio (1,6%) se mezcló con el ingrediente activo bacteriano y fúngico, considerando las proporciones 4, 5 y 6%; a continuación, se agitó suavemente durante 30 minutos para obtener una suspensión homogénea. Las suspensiones se extruyeron gota a gota a través de una aguja de jeringa en una solución de endurecimiento estéril (CaCl₂). Las cápsulas se agitaron a 150 rpm, y se obtuvieron mediante filtración aséptica (Whatman # 2), se lavaron dos veces con agua estéril y se mantuvieron en recipientes plásticos estériles a 4°C hasta su posterior utilización, de acuerdo a las técnicas sugeridas por Lotfipour *et al.* (2012); Adzmi *et al.* (2012) y Dos Santos *et al.* (2015). Con las cápsulas se montaron los siguientes ensayos experimentales:

Viabilidad de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum*

La estabilidad de las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* en la formulación encapsulada (4, 5 y 6 g) se determinó a los 30 y 120 días. Las capsulas se colocaron en solución de citrato de sodio (3% p/v) con agitación (150 rpm) para la disolución completa de las cápsulas (Lima *et al.*, 2014), posteriormente se realizaron diluciones en series y se diseminaron alícuotas de 0,1 mL en medio agar nutritivo para las cepas de *Bacillus* y PDA para *Trichoderma*. El número de colonias que se formaron después de 24 para las cepas bacterianas y 72 horas para las fúngicas se registró como unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) (Adzmi *et al.*, 2012).

Inoculación de las pilas de compostaje

Se prepararon cuatro pilas, mezclando 100 Kg de estiércol fresco con 200 Kg de cáscaras de maní. A cada pila de compostaje se le inoculó diferentes gramos de encapsulados para obtener cuatro variantes (T1: 200 g; T2: 400 g; T3: 600 g, y un control sin inóculo).

Parámetros físicos y químicos de las pilas de compostaje

La temperatura de las pilas se monitoreó periódicamente durante el proceso de compostaje, insertando un termómetro digital en tres puntos equidistantes de cada pila (Kalamdhad y Kazmi,

2009). El contenido de humedad se analizó calculando la pérdida de agua cuando la muestra se secó en la estufa a 105°C. Para la medición del pH y de la conductividad eléctrica las muestras de compost se diluyeron (1:10 p/v) en agua destilada y se midieron utilizando un potenciómetro y un conductímetro (Rebollido *et al.*, 2008; Chin *et al.*, 2020). El contenido de materia orgánica y la concentración de N, P, K Ca, Mg, S, B, Zn, Cu y Fe se realizaron cada 30 días.

Evaluación de la fitotoxicidad del compost

La fitotoxicidad de las muestras de compost se realizó cada 30 días y se determinó en extractos de agua destilada (1:10, p/v). Los extractos se agitaron durante 30 minutos y luego se centrifugaron a 6000 rpm durante 10 minutos; el sobrenadante se recogió y se destiló a través de un filtro de membrana de 045 micrómetros (µm). Posteriormente se adicionaron 5 mL del extracto acuoso en placas de Petri esterilizadas (10 cm de diámetro) y revestidas con papel de filtro Whatman # 2. A continuación, se dispersaron uniformemente sobre el papel de filtro siete semillas de rábano (*Raphanus sativus*), y se incubaron durante 8 días a temperatura ambiente en la oscuridad, para el testigo se utilizaron semillas colocadas en papel filtro humedecido sólo con agua destilada (Gao *et al.*, 2010; Guo *et al.*, 2012).

El porcentaje de germinación relativo de semillas (PGR), crecimiento relativo de radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) se calcularon de acuerdo con la fórmula presentada por Tiquia & Tam (1998).

$$PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

III. RESULTADOS

Viabilidad del inóculo microbiano encapsulado

Las células bacterianas y conidios encapsulados permanecieron viables durante los 90 días de conservación a 4°C. La viabilidad de *B. subtilis* y *B. licheniformis* disminuyó a los 90 días (Tabla 1). Los resultados muestran que *T. longibrachiatum* en T1 presentó a los noventa días de almacenamiento la mayor viabilidad con 8,4X10⁴ UFC/g.

Tabla 1. Viabilidad de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* (UFC/g)

Tratamientos	Cepas bacterianas		Cepa fúngica	
	30 días	90 días	30 días	90 días
T1 (4 g)	6,8x10 ⁷	5,5x10 ³	1,3x10 ⁴	8,4x10 ⁴
T2 (5 g)	1,7x 10 ⁸	4,5x10 ³	1,5x10 ⁴	3,0x10 ⁴
T3 (6 g)	7,5x10 ⁷	5,0x10 ³	2,6x10 ⁴	3,2x10 ⁴

Temperatura

El T1 alcanzó la fase termofílica (<55°C) a las 24 horas y los tratamiento T2, T3 y el testigo a las 48 horas, la cual se mantuvo durante 10 días en el T1 y 11 días en T3 y testigo. También el T1 fue el que

presentó el mayor valor de temperatura con 69°C al quinto día, seguido por el T2 que alcanzó 68°C a los seis días. Al final del proceso de compostaje, las temperaturas en T1 y T3 alcanzaron 30°C, T2 obtuvo 33°C y el testigo registró 35°C (Figura 1).

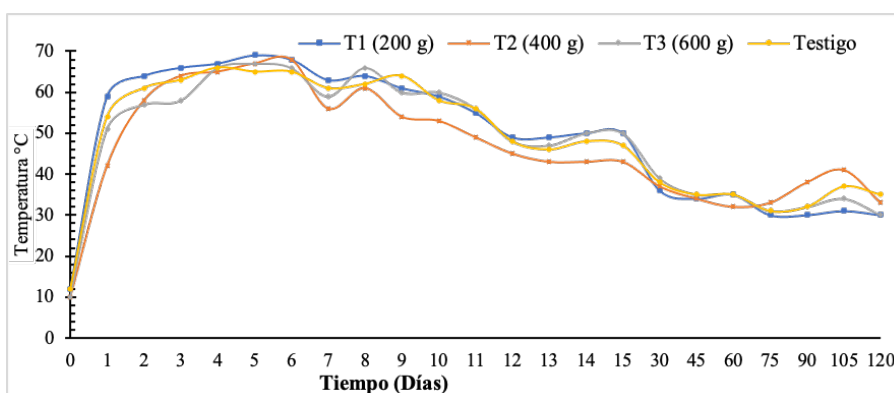


Figura 1. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje

Potencial hidrógeno (pH)

El pH aumentó rápidamente y superó las nueve unidades a las 24 horas en T1, T2 y T4 y a las 48 horas en T3 (Figura 2), prolongándose durante 10

días en T2 y T4 y hasta 11 días en T1 y T3. A partir de los 45 días se obtuvieron valores de pH favorables para los microorganismos que promueven la estabilización del compost.

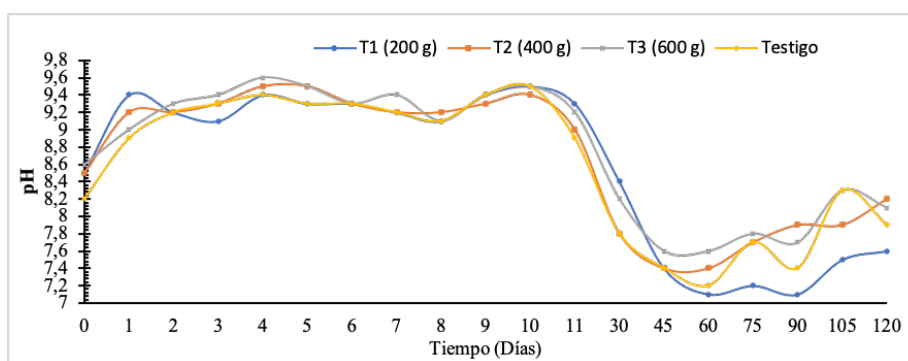


Figura 2. Evolución del pH durante el proceso de compostaje

Conductividad eléctrica (CE)

Inicialmente, el T4 tuvo el valor CE más bajo de 0.96 dS/m⁻¹, mientras que el compost T1 registró la

CE más alta con el valor de 1.4 dS/m⁻¹ (Figura 3). Al final del proceso de compostaje se obtuvieron valores de CE comprendidos entre 1.03 y 1.58.

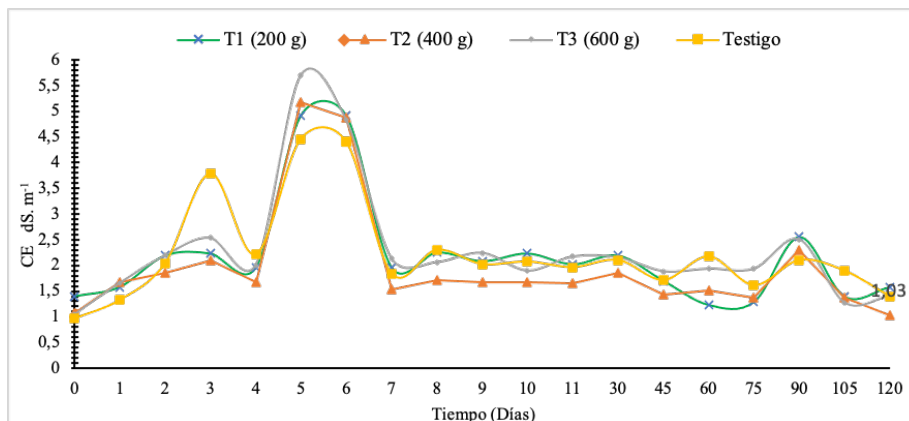


Figura 3. Evolución de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje

Humedad

El contenido de humedad inicial, en los

tratamientos y testigo, estuvo entre los 56-58% (Figura 4), lo que resulta beneficioso.

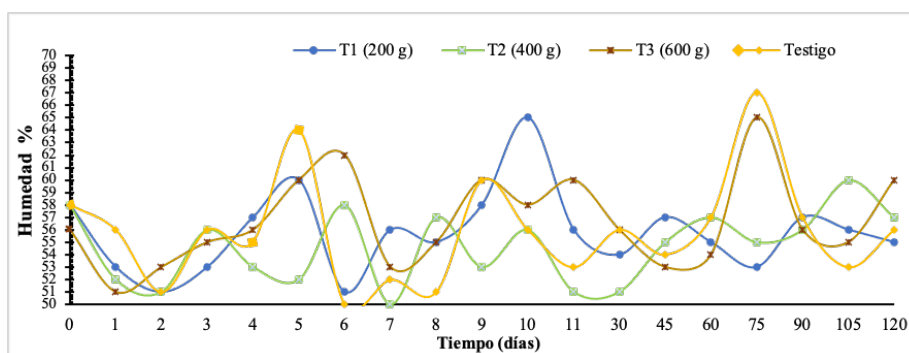


Figura 4. Evolución del contenido de humedad durante el proceso de compostaje

Materia orgánica (%)

El contenido de materia orgánica del compost a los 120 días de compostaje fluctuó entre los 19.2 y 22.5%, los valores más altos corresponden a los

tratamientos que recibieron la mayor cantidad de inóculo, aunque comparten categoría estadística con las otras variantes (Tabla 2).

Tabla 2. Variación de la materia orgánica durante el compostaje

Tratamiento	Tiempo de compostaje (días)			
	30	60	90	120
T1 (200 g)	19.2	19.0	19.0	19.2 ^a
T2 (400 g)	19.1	19.2	19.6	22.0 ^a
T3 (600 g)	19.0	19.0	19.4	22.5 ^a
Testigo	19.6	17.8	19.4	19.5 ^a

Contenido de macronutrientes

La concentración fue progresiva hasta los 120 días, sobre todo en las pilas que recibieron el inóculo encapsulado (Tabla 3). El contenido de N de las compostas maduras para todos los tratamientos se encontró entre 1.6 -1.7 % peso seco. El contenido

de P total de los compost maduros para todos los tratamientos se encontró entre 0,61 y 1,30%. Los valores de K aumentan gradualmente desde el período de compostaje inicial hasta las etapas de compostaje final para todos los tratamientos.

Tabla 3. Evolución del contenido de macronutrientes (%) durante el proceso de compostaje

Días	Tratamiento	N	P	K	Mg	Ca
30	200 g/capsulas	1.9	0.50	1.07	3.84	0.34
60		1.5	0.47	1.11	3.97	0.34
90		1.6	0.52	1.05	3.11	0.36
120		1.6	0.61	1.5	3.35	0.41
30	400 g/capsulas	1.6	0.53	1.05	3.11	0.36
60		1.0	0.45	1.15	3.45	0.36
90		1.6	0.51	0.91	3.62	0.33
120		1.7	1.19	1.93	4.67	0.69
30	600 g/capsulas	1.6	0.61	1.48	3.35	0.41
60		1.2	0.45	1.39	3.72	0.35
90		1.2	0.81	1.45	4.56	0.51
120		1.6	1.30	1.79	4.71	0.67
30	Testigo	1.1	0.52	1.33	2.52	0.37
60		1.2	0.25	0.69	3.19	0.21
90		1.1	0.40	1.15	2.88	0.36
120		1.7	0.92	1.77	3.61	0.60

Contenido de micronutrientes

Tabla 4. Evolución del contenido de micronutrientes (ppm) durante el proceso de compostaje

Días	Tratamiento	B	Zn	Cu	Fe	Mn
30	200 g/capsulas	43	75	27	784	184
60		35	74	27	775	165
90		31	74	26	795	172
120		47	74	38	685	220
30	400 g/capsulas	58	76	30	797	196
60		34	71	26	802	156
90		27	76	30	796	184
120		44	75	44	697	272
30	600 g/capsulas	77	77	30	786	204
60		75	75	27	794	164
90		22	79	36	796	246
120		49	76	41	679	264
30	Testigo	35	78	31	781	192
60		32	42	11	661	71
90		19	72	27	803	175
120		41	74	39	701	228

Fitotoxicidad

Los Tratamientos T1, T2 y T3 tienen índices de germinación > 90 % (Figura 5), como indicativo de

madurez del compost y que están libre de materiales fitotóxicos para las plantas que podrían inhibir la germinación y el crecimiento de las semillas.

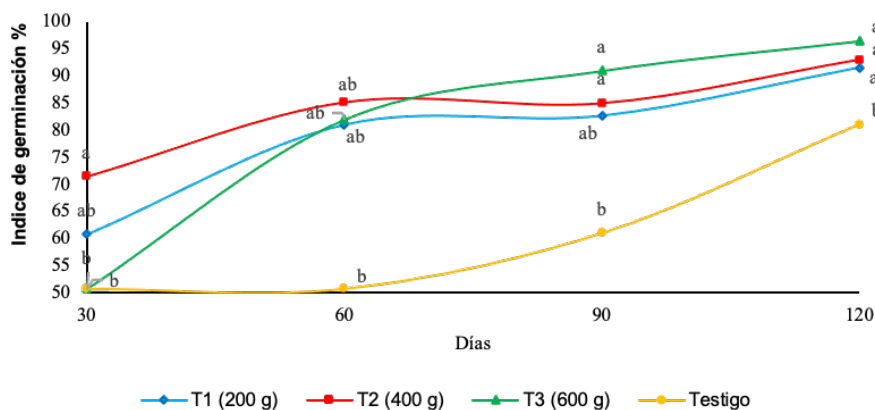


Figura 5. Índice de germinación de las semillas de rábano durante el compostaje

IV. DISCUSIÓN

La temperatura en las pilas de compostaje afecta el crecimiento y la reproducción de microorganismos (Jia *et al.*, 2021), ya que es el principal factor selectivo para las poblaciones y determina la tasa de actividades metabólicas (Rebollido *et al.*, 2008). En la curva de temperatura (Figura 1) se observa que todos los tratamientos mostraron un rápido incremento a las 24 horas, debido a la intensa biodegradación provocada por la actividad microbiana presente en la mezcla de residuos (Petric *et al.*, 2009). Las temperaturas superiores a 55°C durante varios días (al menos tres) contribuyen a la inactivación de organismos patógenos (Vallini *et al.*, 2002; Rastogi *et al.*, 2020). El comportamiento observado durante los 120 días de proceso puede estar relacionado posiblemente con el agotamiento gradual del material fácilmente biodegradable a lo largo de la etapa biooxidativa como lo indican Lopez-Gonzalez *et al.* (2013).

Los microorganismos operan mejor en el rango de pH comprendido entre 6.5 y 8.0 (Vallini *et al.*, 2002), por otro lado, cuando se presentan valores de pH bajos podrían conducir a una tasa de descomposición retardada de la materia orgánica y, por lo tanto, disminuir la eficiencia del compostaje debido a la reducción de las actividades microbianas (Song *et al.*, 2018). Los valores finales de pH (Figura 2) tiene correspondencia con los estándares de calidad de compost, utilizados por la Canadian Council of the Ministers of the Environment [CCME], (2005) que establece un límite comprendido entre 5 y 8.5. El compost que tiene una CE alta influirá negativamente

en los microorganismos del suelo (Song *et al.*, 2018). Los valores altos de CE indican altos contenidos de sales solubles que pueden inhibir la actividad biológica o pueden ser inadecuadas para la aplicación a la tierra si se utilizan grandes cantidades del abono (Moldes *et al.*, 2007). Al final del proceso la CE en los tratamientos no superan el valor (<4.0 dS m⁻¹) (Figura 3) recomendado por Gaind *et al.* (2005). Todos los tratamientos estuvieron en el rango establecido por la Norma Chilena 2880 [NCh2880], (2004), <3 dS/m y la Norma Ambiental para El Distrito Federal [NADF-020-AMBT], (2012), 4 dS/m para compost tipo A”.

El contenido de humedad se encuentre en el rango comprendido entre 50 al 65% (Elcik *et al.*, 2016). Durante las evaluaciones realizadas se registraron picos bajos en el contenido de humedad (Figura 4), lo cual pudo ser causado posiblemente por la generación de calor y la vaporización en la mezcla debido a la actividad microbiana (Nutongkaew *et al.*, 2014). La materia orgánica mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua (Anyanwu *et al.*, 2013). En esta investigación este parámetro cumple con lo establecido por la NCh2880, (2004), al reportar valores superiores al 20% en T2 y T3 (Tabla 2).

El contenido de los macronutrientes, en todos los tratamientos, está dentro del valor establecido por las normas Norma Técnica Colombiana 5167 [NTC5167], (2011) y NCh2880, (2004) para un compost estable, estos se ubican en clase A; Los contenidos N, P y K (Tabla 3) son superiores a los reportados por Neata *et al.* (2015). El contenido de Zn y Cu en el producto final (Tabla 4) no

exceden los límites establecidos por la European Commission, (2015) y por la NCh2880, (2004), para su utilización como enmienda del suelo o como sustratos para cultivos. De manera similar Jadia y Fulekar (2008) reportaron que con la mayor concentración de Zn (50 ppm) en girasol obtuvieron la mayor tasa de germinación (94%) y el mejor promedio en lo relacionado con la longitud de la raíz (17,3 cm).

El IG se emplea para evaluar la fitotoxicidad de la mezcla de residuos durante el proceso de compostaje y, por lo tanto, su madurez (Milanović *et al.*, 2019), ya que los compost inmaduros pueden liberar una variedad de sustancias químicas que obstaculizan o detienen el crecimiento de las plantas (Dorahy *et al.*, 2007). En este estudio el IG presentó una tendencia a incrementarse (Figura 5), similares resultados presentaron Li *et al.* (2020), y al finalizar el proceso de compostaje, los tratamientos inoculados alcanzaron el requisito de madurez ya que presentaron un IG superior al 85% para compost tipo “A” (NADF-020-AMBT, 2012), con índices de 91,5% (T1), 94,04% (T2) y 96,51% (T3), como indicativo de la desaparición de los compuestos fitotóxicos.

V. CONCLUSIÓN

Los resultados en este estudio muestran que la matriz conformada por alginato de calcio fue adecuada para las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* ya que se mantuvieron viables durante los 90 días de conservación a 4°C. Los tratamientos con adición de encapsulados presentaron valores de indicadores físico, químicos y de fitotoxicidad dentro de lo establecido por las normas para categoría A. Sin embargo, se sugiere la utilización del tratamiento con adición de 400 g de cápsulas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Rahman, M. A., Nour El-Din, M., Refaat, B. M., Abdel-Shakour, E. H., Ewais, E. E. D., & Alrefaey, H. M. A. (2016). Biotechnological Application of Thermotolerant Cellulose-Decomposing Bacteria in Composting of Rice Straw. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(1), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.11.006>.
- Adzmi, F., Meon, S., Musa, M. H., & Yusuf, N. A. (2012). Preparation, characterisation and viability of encapsulated *Trichoderma harzianum* UPM40 in alginate-montmorillonite clay. *Journal of Microencapsulation*, 29(3), 205–210. <https://doi.org/10.3109/02652048.2012.659286>.
- Amira Dayana, R., Roshanida, A. R., Rosli, M. I., Siti Fatimah Zahrah, M. F., Mohd Anuar, J., & Nazrul Adha, C. M. (2011). Bioconversion of empty fruit bunches (EFB) and palm oil mill effluent (POME) into compost using *trichoderma virens*. *African Journal of Biotechnology*, 10(81), 18775–18780. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2751>.
- Anyanwu, C. F., Ngohayon, S. L., Ildfonso, R. L., & Ngohayon, J. L. (2013). Application of Indigenous Microorganisms (IMO) for Bio-Conversion of Agricultural Waste. *International Journal of Science and Research*, 4(5).
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- Canadian Council of the Ministers of the Environment [CCME], (2005). Guidelines for Compost Quality. ISBN 1-896997-60-0. https://ceme.ca/en/res/compostgdlns_1340_e.pdf.
- Chin, K. L., H'ng, P. S., Chai, E. W., Khoo, P. S., Lee, C. L., & Go, W. Z. (2020). Valorization of Lignocellulosic Food Industry Waste in Malaysia by Accelerated Co-composting Method: Changes in Physicochemical and Microbial Community. *Waste and Biomass Valorization*, 11(9), 4871–4884. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00825-4>.
- Christian, A., Evanylo, K. G., Pease, W. J., Evanylo, G. K., & Pease, J. W. (2009). On Farm Composting A Guide to Principals, Planning and Operations. In *Virg. Coop. Ext.* https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/48077/452-232_pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Devi, S., Sharma, C. R., & Singh, K. (2012). Microbiolo-

- gical biodiversity in poultry and paddy straw wastes in composting systems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(1). <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000100034>.
- Dorahy, C.G., Pirie, A.D., Pengelly, P., Muirhead, L.M, and Chan, K.Y. (2007). Guidelines for Using Compost in Land Rehabilitation and Catchment Management. Department of Environment and Climate Change. <https://www.epa.nsw.gov.au/yourenvironment/waste/wastefacilities/organicsprocessingfacilities//media/EPA/Corporate%20Site/resources/warrlocal/070527compostcatchmgt.aspx?la=en&hash=51BB724F5E2C7EB8A4BB4CB5D-272BF6328593DB6>.
- Dos Santos, G. F., Locatelli, G. O., Coêlho, D. A., Botelho, P. S., de Amorim, M. S., de Vasconcelos, T. C. L., & Bueno, L. A. (2015). Factorial design, preparation and characterization of new beads formed from alginate, polyphosphate and glycerol gelling solution for microorganism microencapsulation. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 75(2), 345–352. <https://doi.org/10.1007/s10971-015-3705-5>.
- Elcik, H., Zougrana, A., & Bekaraki, N. (2016). Investigation of aerobic compostability of municipal solid waste in istanbul. *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences*, 34(2), 211–220.
- European Commission. (2015). Establishing the ecological criteria for the award of the EU Ecolabel for growing media, soil improvers and mulch (2015/2099/EU). *Official Journal of the European Union*, 75.
- Gaind, S., Pandey, A. K., & Lata. (2005). Biodegradation study of crop residues as affected by exogenous inorganic nitrogen and fungal inoculants. *Journal of Basic Microbiology*, 45(4), 301–311. <https://doi.org/10.1002/jobm.200410483>.
- Gao, M., Liang, F., Yu, A., Li, B., & Yang, L. (2010). Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere*, 78(5), 614–619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.10.056>.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>.
- Insam, H., & De Bertoldi, M. (2007). Chapter 3 Microbiology of the composting process. In *Waste Management Series* (Vol. 8, pp. 25–48). [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80006-6).
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H. (2008). Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 547–558. <https://doi.org/10.30638/eemj.2008.078>.
- Jalilpour, Y., Abdollahzade, B., ParviziFard, G., Aghazadeh, M., Bialvaei, A. Z., & Kafil, H. S. (2017). A simple route for preparation of pH-sensitive hydrogels by using egg white proteins in alginate scaffold for the encapsulation of probiotics. *Ars Pharmaceutica*, 58(3). <https://doi.org/10.4321/S2340-98942017000300006>.
- Jia, X., Qin, X., Tian, X., Zhao, Y., Yang, T., & Huang, J. (2021). Inoculating with the microbial agents to start up the aerobic composting of mushroom residue and wood chips at low temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105294>.
- Kalamdhad, A. S., & Kazmi, A. A. (2009). Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. *Chemosphere*, 74(10). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.058>.
- Krasaekoopt, W. Bhandari, B y Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yogurt. *International Dairy Journal*. 13(3-13).
- Li, J., Wang, X., Cong, C., Wan, L., Xu, Y., Li, X., Hou, F., Wu, Y., & Wang, L. (2020). Inoculation of cattle manure with microbial agents increases efficiency and promotes maturity in composting. *3 Biotech*, 10(3). <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2127-4>.

- Lima, J. R., Locatelli, G. O., Finkler, L., & Luna-Finkler, C. L. (2014). Incorporação de *Lactobacillus casei* microencapsulado em queijo tipo coalho. *Ciência & Saúde*, 7(1), 27–34. <https://doi.org/10.15448/1983-652x.2014.1.15639>.
- Lopez-Gonzalez, J. A., Lopez, M. J., Vargas-Garcia, M. C., Suarez-Estrella, F., Jurado, M., & Moreno, J. (2013). Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. *Bioresource Technology*, 146, 574–584. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.122>.
- Lotfipour, F., Mirzaeei, S., & Maghsoodi, M. (2012). Evaluation of the effect of cacl₂ and alginate concentrations and hardening time on the characteristics of *Lactobacillus acidophilus* loaded alginate beads using response surface analysis. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 2(1), 71–78. <https://doi.org/10.5681/apb.2012.010>.
- Milanović, V., Osimani, A., Cardinali, F., Taccari, M., Garofalo, C., Clementi, F., Ashoor, S., Mozzon, M., Foligni, R., Canonico, L., Ciani, M., & Aquilanti, L. (2019). Effect of inoculated azotobacteria and *Phanerochaete chrysosporium* on the composting of olive pomace: Microbial community dynamics and phenols evolution. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53313-z>.
- Moldes, A., Cendón, Y., & Barral, M. T. (2007). Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology*, 98(16), 3069–3075. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.021>.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2012). https://doi.org/http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividaddf/nadf_020_ambt_2011.pdf.
- Norma Técnica Colombiana 5167 [NTC5167], (2011). Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.
- Norma Chilena 2880 [NCh2880], (2003). Norma Chilena Oficial. Compost-Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Nutongkaew, T., Duangsuwan, W., Prasertsan, S., & Prasertsan, P. (2014). Effect of inoculum size on production of compost and enzymes from palm oil mill biogas sludge mixed with shredded palm empty fruit bunches and decanter cake. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 36(3), 1438–1443.
- Neata, G. Teodorescu, R. Dinca, L. Basaraba, A. (2015). Physico-chemical and microbiological composition of composts from Bucharest municipal waste. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 6: 486 – 491.
- Petric, I., Šestan, A., & Šestan, I. (2009). Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. *Process Safety and Environmental Protection*, 87(3), 206–212. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2009.02.002>.
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>.
- Rebollido, R., Martínez, J., Aguilera, Y., Melchor, K., Koerner, I., & Stegmann, R. (2008). Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Applied Ecology and Environmental Research*, 6(3). https://doi.org/10.15666/aeer/0603_061067.
- Ribeiro, N. de Q., Souza, T. P., Costa, L. M. A. S., Castro, C. P. de, & Dias, E. S. (2017). Microbial additives in the composting process. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(2), 159–168. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038216>.
- Seoudi, O. A.-T. (2013). Enhancement of Cotton Stalks Composting with Certain Microbial Inoculations. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 4(1).
- Song, C., Zhang, Y., Xia, X., Qi, H., Li, M., Pan, H., & Xi,

- B. (2018). Effect of inoculation with a microbial consortium that degrades organic acids on the composting efficiency of food waste. *Microbial Biotechnology*, 11(6), 1124–1136. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13294>.
- Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*, 65(1–2). [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00024-8).
- Vallini, G., Gregorio, S. Di, Pera, A., & Cunha Quêda, A. C. F. (2002). Exploitation of composting management for either reclamation of organic wastes or solid-phase treatment of contaminated environmental matrices. In *Environmental Reviews* (Vol. 10, Issue 4, pp. 195–207). <https://doi.org/10.1139/a02-008>.
- Wei, Z., Xi, B., Zhao, Y., Wang, S., Liu, H., & Jiang, Y. (2007). Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. *Chemosphere*, 68(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.067>.
- Zhang, L., & Sun, X. (2015). Effects of earthworm casts and zeolite on the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, 39, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.037>.
- Zhou, S., Zhang, X., Liao, X., Wu, Y., Mi, J., & Wang, Y. (2019). Effect of different proportions of three microbial agents on ammonia mitigation during the composting of layer manure. *Molecules*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/molecules24132513>.