

Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulíticos

Treatment of organic waste employing cellulolytic microorganisms

Nacimba Nacimba, Gabriela Alexandra; Santafé Sari, Diana Carolina; Andueza Leal, Félix Daniel

Gabriela Alexandra Nacimba Nacimba

ganacimba@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador

Diana Carolina Santafé Sari

dianasantafesari@gmail.com

Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador

 Félix Daniel Andueza Leal

fdandueza@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. 1, 2018

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 08 Febrero 2018

Aprobación: 04 Julio 2018

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/624/6243933004/>

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.819>

Autor de correspondencia: ganacimba@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Cómo citar: Nacimba Nacimba, G. A., Santafé Sari, D. C., & Andueza Leal, F. D. (2018). Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulíticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 5(1), 30–40. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.819>

Resumen: La presente investigación utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos (T1, T2 y T3) y un blanco (TB) como referencia, cada uno con 3 repeticiones, con un total de 12 pilas de compost, ubicadas en la parroquia de Amaguaña. Cada pila contenía 132 Kg de estiércol y contenido ruminal provenientes del camal de faenamiento familia Aldaz; 30 g de urea, 4L de melaza y 4Kg de aserrín; se inocularon para el tratamiento T1 con 30 x 109 UFC de *Proteus mirabilis*, T2 con 30 x 109 UFC de *Citrobacter freundii*, T3 con 356 x 103 células *Penicillium spp.* y TB sin adición de microorganismos. Se tomaron mediciones de temperatura, pH y humedad a los 3 días de creación de las pilas (tiempo de adaptación de microorganismos a su nuevo hábitat). El análisis de varianza (ANOVA), determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, por ello para seleccionar el mejor tratamiento se emplearon indicadores cuantitativos y cualitativos. Como resultado T2 fue el mejor tratamiento con una reducción en la cantidad de desechos orgánicos del 80,97%; una T máx. de 46°C, materia orgánica del 80,02%, produciendo un sustrato orgánico marrón oscuro altamente salino con pH 9,04, nitrógeno total (4%), fósforo total (0,02%), potasio (0,73%) y libre de patógenos fecales.

Palabras clave: compost, tratamientos, inóculo, sustrato orgánico, microorganismos.

Abstract: The present investigation used a completely randomized experimental design (DCA), with 3 treatments (T1, T2 and T3) and a target (TB) as reference, each with 3 repetitions, with a total of 12 compost piles, located in the parish of Amaguaña. Each pile contained 132 kg of manure and rumen content from the Aldaz family slaughterhouse; 30 g of urea, 4 L of molasses and 4 Kg of sawdust; were inoculated for T1 treatment with 30 x 109 CFU of *Proteus mirabilis*, T2 with 30 x 109 CFU of *Citrobacter freundii*, T3 with 356 x 103 cells *Penicillium spp.* and TB without addition of microorganisms. Measurements of temperature, pH and humidity were taken 3 days after the creation of the batteries (time of adaptation of microorganisms to their new habitat). The analysis of variance (ANOVA), determined that there were no statistically significant differences between treatments, so to

select the best treatment quantitative and qualitative indicators were used. As a result, T2 was the best treatment with a reduction in the amount of organic waste of 80,97%; a Tmax of 46 °C, organic matter of 80,02%, producing a highly saline dark brown organic substrate with pH 9.04, total nitrogen (4%), total phosphorus (0,02%), potassium (0,73%) and free of fecal pathogens.

Keywords: compost, treatments, inoculum, organic substrate, microorganisms.

INTRODUCCIÓN

De los residuos generados a nivel nacional se ha determinado que el 60% corresponden a residuos orgánicos y 20% a residuos sólidos inorgánicos potencialmente reciclables, una fuente importante de generación de estos se encuentra en los más de 200 mataderos o centros de faenamiento. A nivel nacional se estima que 15,6 millones de litros es sangre, 48,138 TN es contenido ruminal y 19,255 TN es estiércol (MAE, 2013).

Se estima que, del proceso de faenado, el 25% del peso total del animal vivo es residuo entre ellos tenemos: estiércol, contenido ruminal, sangre, huesos, tejidos grasos, entre otros. El tratamiento de estos desechos a partir de la recuperación, reutilización y transformación en insumos aprovechables es primordial debido a que en Ecuador la mayoría de camales presenta una mala disposición del estiércol, ya que este es depositado a cielo abierto, en quebradas, lotes baldíos, entre otros.

Esto ha provocado graves problemas de contaminación ambiental en cuerpos hídricos principalmente por microorganismos patógenos para el hombre, en el suelo alterar sus condiciones debido a que contienen metales pesados que con la precipitación llegan a formar lixiviados, por otro lado, en el aire generan un desequilibrio debido al porcentaje de metano y monóxido de carbono que emanan alterando las características naturales del entorno.

Como precedentes de este trabajo se incluyen, experimentos realizados principalmente en el continente asiático, en países como: China, Japón y Corea del Sur, en los cuales se han aislado cepas específicas de microorganismos como lactobacilos, actinomicetos, hongos, entre otros, evaluando sus capacidades de degradación de celulosa, su actividad anti fúngica en los casos donde era posible, secuenciaron su ADN para identificarlas y caracterizarlas, y por último las emplearon en la elaboración de abono orgánico teniendo como resultado que al adicionar estas cepas el proceso de compostaje mejora notablemente, ya que la temperatura como indicador fundamental del proceso aumenta considerablemente en los primeros días de la creación de las pilas de compost lo cual reduce el tiempo de maduración del abono orgánico (Jia et al., 2011).

Tras el análisis del funcionamiento del camal de faenamiento familia Aldaz, se detectó que uno de los mayores problemas ambientales es la generación de estiércol vacuno que normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio físico adecuado son enterrados o dejados almacenados a la intemperie, con la consecuente contaminación ambiental. Por ello, se planteó como alternativa para el manejo de estos desechos transformarlos en un sustrato orgánico mediante el proceso de compostaje permitiendo convertir y transformar de manera segura los residuos orgánicos, para aprovechar en la industria agrícola, generando beneficios económicos y ambientales para la empresa ya que el producto generado aumentará el aporte de nutrientes, la retención de agua y oxígeno en suelos degradados.

NOTAS DE AUTOR

ganacimba@uce.edu.ec

METODOLOGÍA

Recolección de muestras

Se recolectó muestras de estiércol y contenido ruminal “in situ” en el camal de faenamiento Familia Aldaz, con la finalidad de aislar microorganismos celulolíticos presentes en aquellos residuos. Se empleó el método propuesto por Leguizamón y Tique (2008), se trazó una malla sobre el material a recolectar y se procedió a tomar muestras de las intersecciones de dicha malla.

Las muestras se recolectaron con una espátula esterilizada con alcohol al 70%, se las mezcló en un balde plástico, la muestra compuesta fue introducida en bolsas ziploc estériles con objeto de mantener la humedad. Para transportar la muestra se usó un cooler que mantuvo la cadena de frío, evitando la reproducción y metabolismo de microorganismos nativos.

Aislamiento de microorganismos con actividad celulolítica

Se utilizó 1 L de medio mineral líquido (NaNO_3 : 2,5 g; KH_2PO_4 : 2,0 g; MgSO_4 : 0,2 g; NaCl : 0,2 g y $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,1 g, en 1 L de agua destilada, para revitalizar los microorganismos presentes en el estiércol y contenido ruminal. Para asegurar que únicamente proliferen los microorganismos aerobios que presenten actividad celulolítica, se usó como fuente de carbono papel filtro, en una proporción del 3% respecto a la cantidad total de medio mineral. El papel filtro se lo cortó en trozos de aproximadamente 1 cm. Se esterilizó vía calor húmedo en autoclave durante 15 min hasta alcanzar los 121 °C y 1 atm de presión.

Se elaboró un biorreactor, que contenía 1 L de medio mineral esterilizado y frío con el 3% de inóculo, es decir, 30 g de la muestra de estiércol y contenido ruminal y 30 g de papel filtro, este proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente (20 °C) y con 2 g/L de O_2 . Se realizaron observaciones cada 5 días, para apreciar la degradación del papel filtro y controlar temperatura y la cantidad de oxígeno, este proceso se lo hizo durante 15 días. El día 12 se detectó la suspensión del aumento de la temperatura del biorreactor, por lo que se cubrió con material concentrador de calor y se colocó cerca lámparas. El tiempo de observación se extendió a 17 días luego de los cuales se realizó la siembra de bacterias y hongos en medios específicos.

Identificación y selección de microorganismos celulolíticos

Cepas bacterianas

- **Macroscopía.** Se realizó la siembra de bacterias en medio TSA se llevó a incubación durante 48 h a 37°C, posteriormente se realizó la caracterización macroscópica, con base en los siguientes criterios: “tamaño de las colonias (puntiforme, pequeñas, medianas, grandes); color; forma (regulares, redondas, ovaladas, irregulares, filamentosas, rizoides); elevación de las colonias (plana, elevada, convexa monticular); bordes (entero, ondulado, aserrado, filamentosos y rizado); superficie; olor (amoniacal, fétido, dulzón) y crecimiento (abundante, moderado, escaso)” (Escobar et al., 2012).
- **Microscopía.** Se procedió a realizar el aislamiento de las cepas identificadas en macroscopía, para ello se preparó 350 mL de caldo nutritivo BHI y se colocó 50 mL en 7 matraces, por el método de inoculación directa fueron tomadas las diferentes colonias con el asa de siembra, colocadas en los matraces (Laboratorios Britania S.A., 2015), y llevados a la incubadora por 24 horas. Transcurrido este periodo se utilizó las cepas en las diferentes pruebas bioquímicas, para identificar la especie de bacteria.

Cepas fúngicas

- **Macroscopía.** Se realizó la siembra de hongos en medio Agar Sabouraud, su proliferación demoró siete días a temperatura ambiente; posteriormente se observó los bordes, exudado, color, olor, forma y claves taxonómicas (Escobar et al., 2012) de los hongos desarrollados.
- **Microscopía.** Para la observación microscópica, se utilizó la técnica de cinta pegante. Esta técnica, se realizó mediante el doblado de una tira de cinta adhesiva la que se presionó firmemente contra la superficie del hongo a identificar. La tira de cinta con la muestra fúngica se colocó en un portaobjetos y se añadió una gota de azul de lactofenol, finalmente se observó en el microscopio.

Preparación de inóculos

Se realizó la reactivación de las cepas seleccionadas mediante la adición de nutrientes

Bacterias. Fueron reactivadas en caldo BHI, para esto se definió la escala Macfarland en la que se encontraban los microorganismos, que para el caso de *Proteus mirabilis* (M3) y *Citrobacter freundii* (M13) se encontraban en escala 10 Macfarland, posteriormente se los introdujo en la incubadora a 37 °C durante 24 horas (Universidad de Antioquia, 2009).

Hongo. Para *Penicilium* spp., se sembró sus esporas en 8 mL de caldo BHI, se llevó a incubación a 67°C por 24 horas y se realizó el recuento celular en la cámara de Neubauer.

La concentración celular según Arredondo et al., (1997) se calcula de acuerdo a la fórmula (ecuación 1):

$$C = N * 10^4 * \text{dil} \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

C = cél/mL

N = promedio de células presentes en 1 mm² (0,1µL)

dil = factor de dilución

Una vez reactivadas, la cantidad de inóculo para las pilas de compost fue seleccionada de forma aleatoria y experimental considerando el recuento celular fúngico y la escala Macfarland.

Los inóculos fueron colocados en tubos de ensayo estériles debidamente sellados, etiquetados y llevados al área experimental en cooler manteniendo la cadena de frío.

Los inóculos fueron colocados en el centro de las pilas a una profundidad aproximada de 30 cm.

Pilas de compost

Los materiales empleados para la creación de pilas de compost fueron: estiércol vacuno, contenido ruminal, aserrín, urea y melaza. La cantidad de material empleado se determinó de manera experimental; con una relación C: N inicial calculada de 34,15, este valor se encuentra dentro del rango óptimo establecido por la FAO (2013).

Se crearon 12 pilas de compost, cada tres pilas fueron asignadas con un tratamiento específico. Las pilas fueron creadas sobre plástico lo cual facilitó su recubrimiento, la retención de los materiales a compostar y la prevención de contaminación del suelo con lixiviados.

Parámetros de control durante el proceso de compostaje

Antes de iniciar con el proceso de control, se realizó un recuento inicial de bacterias y hongos, a fin de asegurar su presencia en las pilas de compost. Se realizó a los 3 días de creación de las pilas, para ello se tomaron 2,5 g de cada pila de compost y se adicionaron 50 mL de agua destilada, se homogenizó las soluciones madre por agitación y mediante el método de diluciones seriadas (hasta 10⁻⁴) se procedió a la siembra por extensión de bacterias en agar Antibiótico 19 con un periodo de incubación de 48 h a 35°C y hongos en agar OGY con periodo de siete días para su desarrollo.

Posteriormente, se controlaron parámetros como: temperatura, pH, aireación y humedad, durante todo el proceso de compostaje, según lo indica la tabla 1. Los datos registrados permitieron realizar correcciones in situ a fin de que el proceso produjera un compost inocuo y con cantidades óptimas de macro nutrientes.

TABLA 1
Parámetros de control

Parámetros de control	Método	Aparato de medición	Marca del aparato	Lugar de medición	Frecuencia de medición
Temperatura	Lectura directa del aparato	Termómetro digital (-50°C - +300°C)	SUNNEX	In situ	Dos veces a la semana
pH	Química seca	Tiras indicadoras del pH	Merck	In situ	Dos veces a la semana
Aireación	Volteo manual de pilas	N/A	N/A	In situ	Dos veces a la semana
Humedad	Método gravimétrico de desecación en estufa de aire caliente	Estufa de aire caliente Balanza analítica	Mernmert ADAM	LABFIGEMPA	Una vez a la semana

Análisis físicos, químicos y microbiológicos en compost maduro

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos sobre muestras de compost maduro, se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y en los laboratorios del Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador, respectivamente. Los análisis físicos realizados se basaron en el aspecto general de la pila de compost, es decir, se evaluó su color y olor. Los análisis químicos realizados fueron: la temperatura, el pH, el porcentaje de humedad, el porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio. Mientras que los análisis microbiológicos comprenden: presencia de Coliformes fecales (E. Coli) y Coliformes totales.

Además, se realizó el conteo final de bacterias y hongos a fin de comparar la disminución de microorganismos debido al efecto propio del proceso de compostaje. Se lo realizó a los 88 días de creación de las pilas, una vez terminado el proceso de compostaje.

En la tabla 2 se muestran los análisis realizados y sus respectivos métodos.

TABLA 2
Métodos de ensayo para compost maduro

Determinación de análisis microbiológicos	Método
Coliformes fecales	1Recuento por el número más probable
Coliformes totales	Recuento por el número más probable
Determinación de parámetros químicos	Método
Conductividad eléctrica	Conductímetro con extracto de pasta saturada.
Materia orgánica	Calcinación de la muestra en mufla a 600 °C.
Nitrógeno total	Cálculo a partir del porcentaje de materia orgánica.
Fósforo total	Método Olsen modificado.
Potasio	Espectrofotometría de absorción atómica.

¹ Para la determinación de coliformes fecales se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-2} (de la solución madre) debido a que en diluciones mayores las placas presentaron crecimiento estadísticamente no válido para ser reconocidos como resultados.

Indicadores para evaluación del mejor tratamiento

Estos indicadores se aplicaron para evaluar cada tratamiento debido a que no se pudo realizar la prueba de Tukey ya que no existió diferencia significativamente estadística entre tratamientos.

Los indicadores cualitativos fueron: color marrón oscuro y olor a tierra. Mientras los indicadores cuantitativos se muestran en la tabla 3, y permitieron definir qué tratamiento fue el mejor en términos de calidad de compost maduro, reducción del tiempo del proceso de compostaje y características del microorganismo inoculado.

TABLA 3
Indicadores cuantitativo

Parámetros de evaluación	VARIABLES DE SALIDA	Indicador
Duración del proceso de compostaje	Tiempo de compostaje	$(tr_{e1} / tr_{f2}) * 100$
	Temperatura	$(T_{re} / T_{rf}) * 100$
	pH	$(pH_{re} / pH_{rf}) * 100$
	Humedad	$(H_{re} / H_{rf}) * 100$
	Materia orgánica	$(\% M. Ore / \% M. Orf) * 100$
Calidad de compost maduro (Análisis físicos, químicos y microbiológicos)	Cantidad de material degradado	$(\% \text{material degradadore} / \% \text{material degradadorf}) * 100$
	Conductividad eléctrica	$(C. Ere / \% C. Erf) * 100$
	Nitrógeno total	$(\% Nre / \% Nrf) * 100$
	Fósforo total	$(\% Pre / \% Prf) * 100$
	Potasio	$(\% Kre / \% Krf) * 100$
	Coliformes fecales	$< 1000 \text{ NMP/g}$

¹ re: valor real, obtenido de las pilas de compost.

² rf: valor referencial, obtenido de bibliografía similar.

Análisis estadístico

Para esta investigación se empleó un diseño completamente al azar (DCA) por ser un método ampliamente usado en el campo de la experimentación agrícola y a nivel de invernaderos. Este diseño tiene una amplia aplicación cuando las unidades experimentales son bastante homogéneas, es decir que los factores actúan por igual en estas unidades.

Este análisis estadístico conjuntamente con los indicadores anteriormente mencionados permitió seleccionar el tratamiento que redujo la mayor cantidad de desechos orgánicos y que produjo compost de buena calidad.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Recolección de muestras

Se recolectó una muestra compuesta de 200 g de estiércol y contenido ruminal para realizar el aislamiento de microorganismos celulolíticos aerobios nativos.

Identificación y selección de microorganismos con actividad celulolítica

Bacterias

De las cajas inoculadas para crecimiento de bacterias se consideraron como resultados estadísticamente válidos a los expuestos en la tabla 4.

TABLA 4
Placas Petri estadísticamente válidas

Dilución	Cantidad de colonias UFC/g
10-1	1,1 x 10 ⁴ UFC/g
10-2	3,5 x 10 ⁴ UFC/g

UFC: Unidades formadoras de colonia

En estas cajas las colonias bacterianas fueron evaluadas con los criterios macroscópicos precedentes. Así, en la tabla 5 se muestra la macroscopía observada.

TABLA 5
Macroscopía de colonias bacterianas

Código de colonia	Macroscopia de las colonias identificadas
M1	Redondas cóncavas, de borde irregular y de color crema.
M3	Cóncavas, de borde regular, rosadas y chiclosas.
M4	Cóncavas, de borde regular y coloración amarilla..
M6	Cóncavas, de borde regular y de color crema.
M8	Cóncavas, de borde regular y coloración amarillo intenso.
M11	Cóncavas, de borde regular, rosadas y con un punto central muy notorio.
M13	Convexas, de borde irregular y de color crema.

La Microscopía se realizó mediante pruebas bioquímicas según lo expuesto por Madigan et al., (2009), se realizaron seis pruebas que se indican en la tabla 6.

Con los resultados obtenidos de las pruebas bioquímicas más los criterios macroscópicos y las características específicas de las diferentes especies bacterianas descritas teóricamente, se seleccionaron para la investigación las cepas de las especies *Proteus mirabilis* y *Citrobacter freundii*.

Cepas fúngicas

En las cajas inoculadas para crecimiento de hongos, se evidenció el crecimiento de una única especie de hongo de color verdoso, algodonoso y amarillo en su parte posterior (Figura 1), que mediante la técnica de la cinta pegante y el microcultivo (Martí et al., 1998) se observó la morfología típica del género *Penicillium* (Figura 2), género que se caracteriza por la degradación de materia orgánica; por consiguiente, también se empleó a la cepa fúngica *Penicillium* spp. para el desarrollo de la investigación.

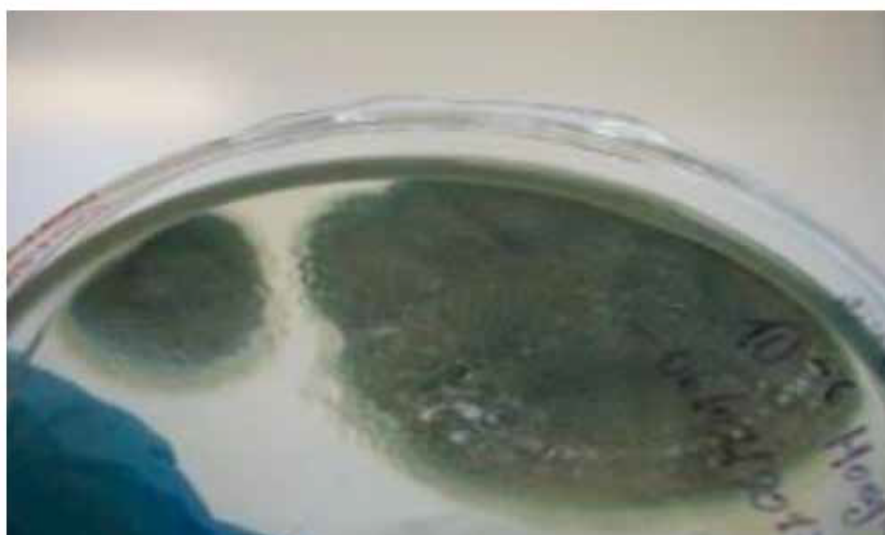


FIGURA 1
Macroscopía de cepa fúngica: Hongo verdoso



FIGURA 2
Morfología de *Penicillium* spp

TABLA 6
Resultado de pruebas bioquímicas

Código colonia	Tinción Gram	Oxidasa	Catalasa	Citrato Simmons	SIM		TSI		
					Movilidad	H ₂ S	Pico /fondo	Gas	H ₂ S
M1	-	-	-	-	+	-	K/A	-	-
M3	+	+	-	+	+	+	NA	+	+
M4	-	-	-	-	+	-	K/A	-	-
M6	+	-	-	-	+	-	A/A	+	-
M8	-	-	-	-	-	-	K/A	-	-
M11	-	+	-	-	-	-	K/K	-	-
M13	-	-	+	-	+	+	NA	+	+

Nomenclatura: K: Base; A: Acido; NA: No Admite; -: negativo; +: positivo

Preparación de inóculos

Resultados del recuento celular para *Penicillium* spp. en la cámara de Neubauer mostrados en la tabla 7.

TABLA 7
Conteo de células para *Penicillium* spp.

Cuadrícula	Número de células /mL
A	194
B	38
C	45
D	79
TOTAL	356
PROMEDIO	89

Las cantidades de inóculo empleadas para cada tratamiento descritas en la tabla 8.

TABLA 8
Cantidad de inóculo por pila de compost

Tratamientos	Microorganismo a inocular	Cantidad de inóculo en mL/pila	¹ Cantidad total de microorganismos
T1	Proteus mirabilis	10	30×10^9 UFC
T2	Citrobacter freundii	10	30×10^9 UFC
T3	Penicillium spp.	0,4	356×10^3 CÉLULAS
TB	Sin adición de microorganismos	0	N/A

Pilas de compost

Las cantidades de materiales utilizados para cada pila de compost, se encuentran detalladas en la tabla 9.

TABLA 9
Formulación base

Material de partida	Cantidades
Estiércol vacuno + contenido ruminal	132 Kg
Aserrín	4 Kg
Urea	30 g
Melaza	4 L

Análisis físicos, químicos y microbiológicos en compost maduro

El recuento inicial y final de bacterias y hongos en las pilas se observan en las Tablas 10 y 11.

TABLA 10
Recuento inicial de bacterias dilución 10^{-1}

Tratamiento	Repetición	R. inicial UFC/g	R. final UFC/g
TB	R1	$9,7 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$
	R2	$4,7 \times 10^2$	-
	R3	$7,2 \times 10^2$	-
T1	R1	$4,3 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$
	R2	$4,4 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$
	R3	$5,1 \times 10^2$	$3,2 \times 10^2$
T2	R1	$4,0 \times 10^2$	-
	R2	$3,7 \times 10^2$	$0,4 \times 10^2$
	R3	$3,9 \times 10^2$	-

Se tomó la dilución 10^{-1} debido a que se encuentra en el rango estadísticamente válido de 30 y 30

TABLA 11
Recuento inicial de hongos

Tratamiento	Repetición	Dilución 1	R. inicial UFC/g	R. final UFC/g
T3	R1	10-1	-	5
		10-2	5	2
		10-3	-	1
		10-4	5	-
	R2	10-1	1	1
		10-2	6	1
		10-3	-	-
		10-4	3	-
	R3	10-1	2	-
		10-2	7	1
		10-3	-	1
		10-4	5	-

Se observó que en la dilución 10^{-1} de crecimiento de cepas fúngicas en el recuento inicial, esto se debe a la aparición de setas de la especie de *Coprinuscomatus* como se muestra en las figuras 3 y 4. Y el crecimiento de levaduras de la especie *Rhodotorula*, estas son colonias rojas brillantes y se muestra en la figura 5. Ambas especies halladas pueden ser estudiadas en proyectos futuros como degradadores de hidrocarburos.



FIGURA 3
Seta de *Coprinuscomatus*



FIGURA 4
Esporas de *Coprinuscomatus* a 40X.



FIGURA 5
Levadura *Rhodotorula*

Temperatura

La fase del proceso de compostaje evaluada fue la fase termófila debido a que en ella el proceso alcanza la mayor temperatura del proceso, así, TB alcanzó 44 °C, T1: 44,9 °C, T2: 46,0 °C y T3: 42,5 °C. La FAO (2013) establece el rango óptimo para esta fase de 45 °C a 70 °C. Según Pravia (2001) citado en Eche (2013) menciona el rango de 40 °C a 75 °C “para eliminar todos los organismos mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables”. En estudios realizados por Gordillo y Chávez (2008), al usar poblaciones microbianas locales la temperatura fue menor a los 45 °C mientras que al utilizar

microorganismos comerciales la temperatura superó los 60 °C. De este modo, la existente entre los resultados de la investigación y estudios previos radica en la utilización de diferentes tipos de inóculos microbiológicos y materiales a compostar empleados.

PH

El pH final para el tratamiento T3 fue de 9,04 muy seguido del tratamiento T2 con pH de 9,05, según la FAO este debe situarse entre 6,5 a 8,5 por lo que ningún tratamiento cumple con este parámetro. En la Norma Chilena 2880 (INC, 2003) los valores óptimos están ente 5 y 8,5 mientras que Olivares et al. (2012) obtuvieron un pH de 7,42 con una remoción por semana, diferente al realizado en este estudio en el cual se removía cada tres días para controlar humedad. Mientras que Pérez et al. (2008) obtuvieron valores de 7,8. La diferencia se debe principalmente a la interacción del estiércol con los residuos vegetales utilizados, que para este estudio fue melaza, estiércol, aserrín y urea.

Humedad

El mayor porcentaje de humedad registrado en la investigación sucedió en T3 con 52,91% muy superior al rango de la FAO que oscila entre 30 a 40%, mientras que en la Norma Chilena 2280 (INC, 2003) está entre 30 y 45%. Sin embargo, Pérez et al. (2008) obtienen un valor de humedad de 52,2% al utilizar estiércol caprino y cascarilla de arroz, valor muy similar a los resultados obtenidos en el tratamiento T3.

Materia orgánica

El valor final máximo registrado fue 80,0% para T2; en estudios realizados por Pérez et al. (2008) reporta 42,8% de materia orgánica en su producto final; sin embargo, Naranjo (2013) obtiene un valor de 23,08%. Según Abad et al. (1993) citado en Pérez et al. (2008) reportó valores superiores al 80% en compost en residuos de origen animal que aseguran una mayor reserva de nutrientes, este valor coincide con el tratamiento T2, en la tabla 12 se indican los resultados.

TABLA 12
Porcentaje final de materia orgánica

Tratamiento	Media %
TB	77,8
T1	75,5
T2	80,0
T3	76,2

Cantidad de material degradado

Se obtuvo un valor máximo de 82,5% en T1 y un mínimo de 79,1% en T3 como se observa en la tabla 13. La FAO (2013) menciona que durante el proceso de degradación se pierde hasta un 50% de material inicial, en contraste con los datos de este estudio, se demuestra claramente que la utilización de inóculos microbiológicos mejora la reducción de las cantidades de materiales usados para la creación de pilas de

compost. La elevada cantidad de material degradado es un “indicador de la velocidad de descomposición de la misma” Hernández et al. (2013).

TABLA 13
Porcentaje de material degradado

Tratamiento	Media %
TB	80,7
T1	82,5
T2	81,0
T3	79,1

Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos oscilan entre 14,1 – 20,2 mmhos/cm, como se muestran en la tabla 14, que al compararlos con valores de conductividad existentes en suelos muy salinos (mayores a 8 mmhos/cm) se considera un sustrato orgánico altamente salino. Esta afirmación se corrobora según lo expuesto por Andrade (2016) donde se alcanzó un valor máximo de 9,13 mmhos/cm, siendo este un valor óptimo cuando se usan residuos animales según lo expone su investigación. Según la Norma Chilena 2880 (INC, 2003) para un compost clase B cuyo valor máximo de conductividad oscila entre 5-12 mmhos/cm. La conductividad eléctrica se encuentra directamente relacionado con la cantidad de sales disueltas en el compost esta tiende a aumentar durante el compostaje debido a la mineralización de la de la materia orgánica lo que a su vez genera el aumento en la concentración de nutrientes, guarda relación con las concentraciones de Ca^{2+} , K^+ y Na^+ (Cariello et al, 2007).

TABLA 14
Conductividad eléctrica en compost maduro

Tratamiento	Media %
TB	14,1
T1	19,6
T2	20,2
T3	14,3

Nitrógeno

El porcentaje de nitrógeno reportado oscila en el rango de 3,7% a 4,0% en base seca, según Hernández et al. (2013) (tabla 15) que oscilan entre 2% a 1,5%, afirmando que el estiércol vacuno no es una buena fuente de aporte de nitrógeno en comparación con la gallinaza; afirmación que se contraponen con los resultados obtenidos en esta investigación. Olivares et al. (2012) establecieron un porcentaje de nitrógeno del 2%. Mientras, Andrade (2016) obtuvo un valor máximo de nitrógeno de 1,6%, lo que indica que el compost obtenido en este estudio es rico en nitrógeno en comparación a productos provenientes de procesos de degradación similares.

TABLA 15
Porcentaje de nitrógeno en compost maduro

c	Media %
TB	3,9
T1	3,7
T2	4,0
T3	3,8

Fósforo

Se obtuvo entre 0,02% y 0,03% de fósforo (tabla 16) valores que cumplen con el valor óptimo establecido para fósforo (menor o igual a 0,1%) en la Norma Chilena 2880 (INC, 2003), lo cual alega que se trata de un compost con buena proporción de fósforo que será útil para “cultivos sensibles al stress de fósforo” (Norma Chilena 2880, 2003). Comercialmente, el compost obtenido no puede competir con otro tipo de abonos orgánicos, pues como lo exponen Paul y Clarck (1996) citado en Soto y Muñoz (2002), un compost aceptable comercialmente presenta valores de fósforo dentro del rango óptimo de 0,15 a 1,5%.

TABLA 16
Porcentaje de fósforo en compost maduro

Tratamiento	Media %
TB	0,03
T1	0,03
T2	0,02
T3	0,02

Potasio

Se reportaron valores de 0,73% y 0,70%, según la tabla 17, estos valores coinciden con la investigación realizada por Andrade (2016), donde el potasio se encuentra en un rango de 0,6% a 1,5%. Datos similares (1,05% de potasio) son reportados por Pérez et al. (2008). La FAO (2013), establece el rango óptimo de 0,3% a 1% que “mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad” (FAO, 2013). Hernández et al. (2013) obtuvieron 0,55% de potasio, este valor también es reportado en el estudio de Castillo et al. (2010). Al igual que con el fósforo, existen factores que provocan una mayor o menor cantidad de potasio en el compost maduro.

TABLA 17
Cantidad de potasio en compost maduro

Tratamiento	Media %
TB	0,70
T1	0,73
T2	0,73
T3	0,73

Coliformes totales y fecales

Los valores obtenidos según la tabla 18 son muy bajos o nulos respecto al valor dado por la Norma Chilena 2880 (INC, 2003), donde un compost debe presentar valores menores a 1000 NMP/g de coliformes fecales para ser considerado de buena calidad e inocuo. Estos bajos resultados demuestran que en la fase termófila la temperatura fue elevada durante el tiempo necesario para higienizar las pilas, eliminando patógenos como *Escherichiacoli*.

TABLA 18
Recuento de colonias de *Escherichiacoli*

Tratamiento	E. Coli NMP/mL
TE	18
T1	-
T2	3
T3	-

Por otro lado, para coliformes totales se reporta el valor máximo de 54 NMP para el tratamiento T1 como se muestra en la tabla 19, este valor no puede ser comparado con el establecido en la Norma Chilena 2880 debido a que en ella se pide valores únicamente para el género *Enterobacter* y el grupo coliformes totales comprende más de un género de bacteria como: *Klebsella*, *Citrobacter*, *Escherichia*.

TABLA 19
Recuento de colonias de Coliformes totales

Tratamiento	Coliformes totales NMP/mL
TE	500
T1	54
T2	277
T3	346

CONCLUSIONES

Los desechos orgánicos provenientes del camal de faenamiento Familia Aldaz, fueron reducidos y tratados exitosamente al transformarlos en un producto aprovechable en el área agrícola, como lo es un sustrato altamente orgánico (80% de materia orgánica) con porcentajes óptimos de macronutrientes y con baja o nula presencia de coliformes fecales.

Los microorganismos con actividad celulolítica nativos aislados e identificados del contenido ruminal y estiércol vacuno en este estudio, corresponden a cepas bacterianas de *Proteus mirabilis*, *Citrobacter freundii* y la cepa fúngica *Penicillium spp.* Estos microorganismos presentaron una alta capacidad degradadora de desechos orgánicos (contenido ruminal y estiércol), lo que permitió reducir en un 80% la cantidad de materiales usados en las pilas de compostaje; demostrando que la utilización de microorganismos nativos es una solución óptima al momento de gestionar desechos orgánicos

El mejor tratamiento para la conversión de desechos orgánicos a un compost de buena calidad, es el tratamiento T2, constituido por: estiércol vacuno, contenido ruminal, aserrín, melaza, urea y el inóculo de *Citrobacter freundii*. Este tratamiento presentó la mayor temperatura en la fase termófila (46 °C), tiene un alto contenido de nitrógeno total (4%), alto contenido de potasio (0,73%), alto contenido de materia orgánica (80%) y una tasa elevada de degradación de desechos (80,97%), en comparación con los otros tratamientos

Los factores que influyeron en la ralentización del proceso de compostaje fueron la gran variación de la temperatura y el porcentaje de humedad de los tratamientos durante el proceso de compostaje, estas variaciones sucedieron debido al mal dimensionamiento de la pila de compost, debido a que pilas de baja altura y de base ancha, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente y no conserven o aumenten la temperatura de los tratamientos. Esto a su vez ocasiona que el porcentaje de humedad no disminuya, ya que no existe evaporación del contenido de agua, lo que provocó que el proceso dure más tiempo.

El compost obtenido tiene una alta salinidad debido al elevado contenido de sales como potasio, hecho que se evidencia en valores altos de pH lo cual le da un carácter alcalino al medio, propicio para la retención de las mismas. Uno de los factores que pudo haber elevado la alcalinidad en las pilas fue la no generación de lixiviados durante el proceso de compostaje ocasionando la retención de sales disueltas y altos valores de pH. Comercialmente este producto no es competidor con fertilizantes químicos debido a que tiene bajos contenidos de nitrógeno y fósforo, dos de los macronutrientes principales y necesarios en los cultivos. Sin embargo, puede ser usado como acondicionador y mejorador de suelos carentes o con bajos niveles de nutrientes, puede ser útil para cultivo de hortalizas y germinación de semillas, siempre y cuando se lo mezcle con otro tipo de sustratos que garanticen cubrir las necesidades nutricionales para las plantas como: N, P, K.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador, por su apoyo técnico y científico.

Al Camal de faenamiento familia Aldaz, por permitirnos realizar la investigación empleando residuos de su proceso productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, S. (2016). *Elaboración de compost a partir de desechos orgánicos con el uso de bacterias ácido-lácticas y Trichoderma spp. en la ciudad de Ibarra* (Tesis de pregrado). Universidad de Las Américas. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6165>
- Arredondo, B., Cordero, B., Herrero, C. y Abalde, J. (1997). Manual de Técnicas Bioquímicas Aplicadas en Fisiología. *Manual de Prácticas del 1er. Curso Teórico Práctico: Aplicaciones Biotecnológicas del Cultivo de Microalgas*. La Paz, Baja California Sur, México, pp. 1-5.
- Cariello, M., Castañeda, L., Riobo, I. y González, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 7(3). Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v7n3/art03.pdf>
- Castillo, H. y Hernández, A. (2010). Effect of Californian red worm (*Eisenia foetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. *Chilean journal of Agricultural Research*. 70 (3). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Castillo3/publication/262426796_Efecto_de_la_Lombriz_Roja_Californiana_Eisenia_foetida_en_la_Dinamica_de_Nutrientes_de_una_Mezcla_de_Materiales_Semicompostados/links/551965cb0cf21b5da3b8793b.pdf

- Eche, F. (2013). *Elaboración de compost, utilizando desechos orgánicos del centro de faenamiento de Julio Andrade. Carchi Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/13>
- Escobar, N., Mora, J. y Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico Centro De Museos Museo De Historia Natural*, 16 (1), 75-88. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
- FAO, (2013). Manual de compostaje del agricultor. *Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Gordillo, F. y Chávez, E. (2008). *Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros en Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf\(2008\)](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf(2008))
- Hernández, O., Hernández, A., Rivera, C., Arras, A. y Ojeda, D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31 (1). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/573/57327411004/>
- Instituto de Normalización Chileno. (2003). *Norma Chilena 2880. Compost Clasificación y requisitos*. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Jia, L., Xiu-hong, X., Hong-tao, L. y Ying, X. (2011). Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3433-3439. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.042>
- Laboratorios Britania S.A. (2015). Tripteína soya agar. Ref. B0210205. Recuperado de <http://www.britanialab.com/productos/B23102%20REV%2001-TRIPTEINA%20SOYA%20AGAR.pdf>
- Leguizamón, L. y Tique, D. (2008). Protocolo muestras de estiércol vacuno. Recuperado de <http://proyectobiogas.blogspot.com/>
- Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P. y Clark, D. (2009). Brock. *Biología de los microorganismos*. Madrid España. Pearson. 12 ed.
- MAE. (2013). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS. Ecuador. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngidsecuador/>
- Martí, M., Alonso, R., y Constans, A. (1998). *NTP 488: Calidad de aire interior: identificación de hongos*. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/n_tp_488.pdf
- Naranjo, E. (2013). *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Agronómica. Recuperado de: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5310/1/Tesis52%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20173.pdf>
- Olivares, M., Hernández, A., Vences, C., Jáquez, J. y Ojeda, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28(1). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792012000100003&script=sci_arttext&tlng=pt
- Pérez, A., Céspedes, C. y Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8 (3). Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000300002&script=sci_arttext
- Soto, G. y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo integrado de plagas y agroecología*, 65. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=1&isAllowed=>