

Degradación de la materia orgánica por medio del proceso de compostaje

Fuente: Alejandro Vargas Sánchez ¹ , Mendoza, E.S. ² , Trujillo, M.E. ³ .

¹.- Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.

².- Laboratorio de Virología y Enfermedades respiratorias del cerdo. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

³.- Departamento de Medicina y Zootecnia del Cerdo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.

Extraído de www.porcicultura.com.

1.0 Objetivo

Reconocer al compostaje como un proceso con capacidad para tratar los residuos orgánicos generados por las granjas de cerdos por lo que se evita la contaminación ambiental y en forma simultánea se obtiene un subproducto, el compost, con valor agronómico importante.

2.0 Efecto de la industria pecuaria sobre el ambiente.

La industria pecuaria contamina el ambiente de diferente manera: 1) emitiendo a la atmósfera gases de efecto invernadero (GEI); 2) derramando aguas residuales a los cuerpos de agua naturales o sobrecargando el sistema de drenaje municipal; 3) debido a la producción de lixiviados (escurrimientos) provenientes de las pilas de materia orgánica acumulada sin manejar o de la carroña enterrada; 4) por medio del movimiento de agentes patógenos, entre granjas; 5) por medio de la deforestación, y pérdida de la biodiversidad posterior, ocurrida cuando se cultivan los granos para alimentar cerdos; 6) por el mal aspecto que un paisaje degradado ofrece a los visitantes; 7) por la emisión de olores y ruidos que disminuyen el aprecio de algunas zonas turísticas afectadas. Posteriormente, es necesario dar el siguiente paso, esto es, comenzar a analizar la manera como se puede reducir y en algunos casos eliminar la contaminación que inicialmente afecta a niveles locales, pero luego se suma con otros fenómenos climatológicos para conformar el

denominado como cambio climático (Huanget *al.*, 2004; Morilla, 2009; Akdenizet *al.*, 2010; MacLeodet *al.*, 2013).

3.0 Diferentes procesos de tratamiento de residuos orgánicos.

Los procesos que pueden adoptarse en granja (*In-site*) para tratar los residuos orgánicos generados por las granjas pecuarias del país son: 1) lagunas de oxidación, en donde las aguas residuales son acumuladas y por medio de procesos fermentativos y de respiración celular, la materia orgánica es degradada hasta un nivel en que esta se encuentra estabilizada y es regada en terrenos de cultivo; 2) biodigestores, que han tenido gran aceptación en años recientes pero requieren de inversión inicial elevada. El objetivo es producir biogás que pueda usarse a su vez, para generar energía eléctrica, sin embargo, debido a errores técnicos, y a la falta de disponibilidad de agua, muchos proyectos no han cumplido con las expectativas prometidas; 3) lombricompostaje, que consiste en el consumo de los residuos orgánicos por parte de las lombrices con el consecuente incremento de biomasa animal que luego puede comercializarse o en su defecto, acelerar el proceso degradativo; 4) compostaje, consiste en la degradación enzimática por medio de una comunidad microbiana (consorcio) que es activada por las características fisicoquímicas de la matriz conformada (materiales mezclados). Un aspecto técnico importante es reconocer que cada uno de los anteriores procesos ocurren dentro de un espacio físico limitado en donde son añadidos sustratos que son empleados por diversos organismos y que generan productos de su metabolismo, por lo que todos y cada uno de ellos deben ser considerados como biodigestores o bioreactores. Por lo que al degradar residuos orgánicos, es necesario indicar: 1) el tipo de proceso que sucede (fermentación, respiración celular); 2) el estado de agregación en que ocurre (fase líquida, fase sólida); 3) los microorganismos que realizan la degradación (lombrices, hongos, bacterias, actinomicetos); 4) los productos que generan (bióxido de carbono, metano, alcohol, ácidos orgánicos); así como 5) el espacio físico en donde, ahora sí, la biodigestión sucede (lagunas, pilas, reactores) (Pérez, 2006; Mittal, 2006; Erickson, 2009; Olea, 2010, Epstein, 2011).

4.0 Adopción del sistema de compostaje por la industria porcina.

Aunque todo el sector pecuario genera residuos orgánicos específicos y estos pueden degradarse con cualquiera de los procesos antes mencionados, en esta revisión, se tratará únicamente del sistema de compostaje. Los residuos orgánicos que genera la industria porcina son: 1) agua residual, consistente en una mezcla heterogénea de agua de lavado, agua de bebida, excreciones (heces y orina) y alimento desperdiciado; 2) excremento que es extraído directamente de los corrales y es acumulado en la zona más lejana de la granja; 3) materia orgánica derivada de cirugías (como testículos y tejidos) que en muchas ocasiones son depositados en los contenedores de basura municipal; 4) residuos orgánicos del área de maternidad como placentas y mortinatos; 5) cadáveres de cerdo provenientes de diferentes áreas productivas; 6) dosis de semen rechazadas por mala calidad o por ser portadora de agentes patógenos; 7) cama de maternidad o paja de corrales; 8) residuos de obrador o rastro. Toda la materia orgánica antes citada puede ser compostada efectivamente para evitar impactar negativamente el ambiente y generar a su vez, un producto con cualidades mínimas de enmienda de suelo y en el mejor de los casos, con capacidad fertilizante importante. Es conocido el hecho de que la mejor manera de evitar el ingreso de agentes infecciosos a las unidades de producción porcina se logra por medio del establecimiento y cumplimiento cabal de las medidas de bioseguridad, pero, actualmente se debe tomar en consideración que las granjas porcinas que menor probabilidad presentan para infectarse o re-infectarse son aquellas que están adoptando el sistema de biocontención de sus residuos infecciosos. De tal manera que si el paradigma ha sido por años el “deshacerse” de los residuos orgánicos, romper el paradigma significaría “inactivarlos y aprovecharlos” (Pijoan, 2006; Wilkinson, 2007; Vargas, 2009; Vargas *et al.*, 2010; Yeske, 2012; Vargas *et al.*, 2013).

5.0 Procesos fisicoquímicos ocurridos dentro de una biopila

El proceso de degradación ocurrido dentro de una matriz de materiales compostados depende de dos aspectos principales: 1) los factores bióticos, representados por la interacción existente entre los diversos organismos vivos que están presentes en la matriz de degradación y que están representados por las interacciones de competencia, depredación, sinergia, entre los diferentes organismos existentes como hongos, invertebrados, bacterias etcétera; y 2) los factores abióticos que son las características fisicoquímicas de los materiales compostados y los subproductos generados ya sea debido al metabolismo microbiano o a la modificación química (lixiviación) de las partículas residuales. Dentro de una biopila (B), ocurren por lo tanto procesos fisicoquímicos que favorecen el establecimiento de una comunidad de microorganismos de diferentes géneros microbianos que emplean la energía y los nutrientes contenidos en la materia prima para sobrevivir y crecer (multiplicarse) hasta que las condiciones abióticas sean desfavorables para ellos. El proceso de compostaje se divide de acuerdo a la temperatura encontrada en cada fase: mesofílica creciente, termofílica y mesofílica decreciente, las cuales ocurren en secuencias de hasta cinco ciclos. La temperatura media en el interior de las biopilas es de 35 °C, 55 °C y 35 °C, respectivamente. Después, cuando la temperatura interna de las B es similar a la temperatura ambiental, se considera que se ha ingresado a la etapa de maduración la cual que puede prolongarse durante varias semanas y hasta meses. Para provocar que los microorganismos empleen al ácido pirúvico generado durante la glicólisis e ingresen una molécula de acetil co-enzima A al ciclo de Krebs, debe encontrarse oxígeno disuelto en la matriz de degradación de tal manera que se evite la anaerobiosis y con esto se induzcan los procesos de fermentación y se formen alcoholes o ácidos. La mejor manera de evitar la anaerobiosis es volteando las B manualmente, en el caso de montones de hasta 5 toneladas o usando maquinaria pesada, cuando el proceso sea industrial. Existe una relación directamente proporcional entre la humedad relativa (HR) y la anaerobiosis existente en las B. Este hecho se explica porque las partículas de

materia orgánica deben estar rodeadas de una fina capa de agua, pero entre las partículas húmeda, debe existir el espacio suficiente para el flujo del aire donde se encuentra el oxígeno requerido por los microorganismos degradadores. Así, las B que no son manejadas adecuadamente (movidas) presentarán una deficiencia de oxígeno que provocará que las especies microbianas aeróbicas mueran, mientras otras se adaptarán a esas nuevas condiciones y emplearán al proceso de fermentación y otras vías metabólicas alternativas para subsistir. Además, cuando el agua añadida en los montones supera el nivel de HR de 60%, se crean lixiviados, que aunque se recomienda su reciclaje, estos indican que los espacios entre partículas han sido saturados, de tal manera que el proceso degradativo se ha detenido o al menos ha dejado de emitir calor. La relación carbono:nitrógeno (C:N) indica las partes de cada elemento químico encontrados en la estructura de la materia prima empleada. Los ingredientes que se encuentran dentro de las granjas de cerdos y que sirven como fuente de C son: aserrín, viruta, cama de las maternidades y corrales así como los residuos de jardinería envejecidos y la maleza. Estos materiales pueden conseguirse fácilmente y son baratos. En relación con los ingredientes que sirven como fuente de N se encuentran: la excreta extraída directamente de los corrales, los biosólidos recuperados de las fosas de aguas residuales, algunos alimentos balanceados enmohecidos, la materia orgánica varia (p. ej., placentas y mortinatos) y los cadáveres de cerdo. En la naturaleza, estos materiales son escasos por lo que existe elevada competencia para obtenerlos (p. ej., un cadáver es consumido en cuestión de minutos por un grupo de buitres, chacales y hienas pero principalmente por hordas de insectos de diferentes especies). Así que, cuando la relación C:N en una B inicia con un valor de 30, se encuentra el mejor nivel de desempeño, en relación a la degradación. De tal manera que las matrices que presentan una relación C:N menor a 10 generan temperaturas elevadas durante un tiempo prolongado, pero se emite al ambiente cantidades importantes de óxido nitroso (N_2O), mientras que las B que presentan relaciones C: N superiores a 40, presentarán dificultad para incrementar la temperatura, precisamente porque el nitrógeno es un reactivo que limita el desarrollo de los microorganismos degradadores que al romper los enlaces

químicos de los compuestos orgánicos liberan la energía que se acumula en la matriz de degradación (Bernal *et al.*, 2009; Iñiguez, 2011; Jiang *et al.*, 2011; Lian *et al.*, 2003; Sadava *et al.*, 2014; Tiquia y Tam, 2002; Zhu, 2007).

6.0 Microbiología del proceso de compostaje

Así como los factores fisicoquímicos favorecen o malogran el desarrollo de los consorcios microbianos, los microorganismos también pueden generar productos de desecho o sustratos nuevos debido a la descomposición de grandes biomoléculas encontradas en la materia prima. La interacción entre los factores bióticos y abióticos se conoce como co-evolución y es la base del entendimiento del proceso de compostaje y de su posterior perfeccionamiento donde se logran reducir los tiempos del proceso y se optimiza el uso de los recursos limitados como el agua y las fuentes de N. Característicamente dentro de una B donde la relación C:N inicial es de 30 y la HR se mantiene entre 50 y 60%, se deben alcanzar 55 °C en un intervalo de tiempo de 24 a 48 horas después del mezclado inicial. Posteriormente, la temperatura tiene una duración entre 5 y 10 días, y finalmente, la caída de temperatura sucede hasta que los montones son volteados nuevamente y se ajusta el nivel de HR. Las bacterias degradadoras amilolíticas, celulolíticas y proteolíticas son las que mejor se adaptan a las condiciones termofílicas. Por otro lado, las levaduras y hongos ingresan en fase de latencia, formando esporas y estas vuelven a activarse hasta que se encuentran en condiciones de baja temperatura y humedad elevada característicos de la fase de maduración del compost por lo que re-inician su fase de crecimiento y re-activan su maquinaria enzimática diseñada para degradar las moléculas recalcitrantes que resistieron las etapas anteriores. Los microorganismos degradadores emplean mecanismos enzimáticos para 1) ingresar moléculas pequeñas y degradarlas intracelularmente; 2) degradar extracelularmente y posteriormente internalizar las moléculas; y 3) entrar en apoptosis y al degradarse sus membranas, liberar las enzimas citoplasmáticas en beneficio de las otras células microbianas. De tal manera que cuando las excretas o los cadáveres son co-compostados, las biomoléculas constituyentes, como los aminoácidos en el caso de la necromasa y

la urea para el caso de las excretas, son inicialmente desaminadas, posteriormente son empleadas por los microorganismos y liberan amoníaco (NH_3) que es el precursor del ión amonio (NH_4^+) el que es fácilmente asimilado por los microorganismos o de las plantas. Posteriormente y de acuerdo a condiciones abióticas específicas y a la presencia de microorganismos específicos, se oxida el NH_4^+ y forma el ion nitrito y este da lugar al nitrato que también puede ser aprovechado por la biomasa existente. De esta manera, por medio del proceso de compostaje aeróbico, pueden reciclarse y aprovecharse las moléculas de N que de otra manera son emitidas al ambiente como N_2O favoreciendo entonces el cambio climático debido al mayor potencial de calentamiento global (casi de 300 veces más) que estas moléculas tienen en comparación con una molécula de bióxido de carbono (CO_2) generada durante el proceso de respiración celular (glucólisis-ciclo de Krebs-cadena respiratoria-quimioosmosis) y que fue necesaria, hasta antes de la revolución industrial, para recargar a la atmósfera con la forma gaseosa de carbono requerida por el proceso de fotosíntesis ocurrido en los organismos productores como las plantas (Amir *et al.*, 2008; Albertset *et al.*, 2015; Audesirket *et al.*, 2011; Rickeboeret *et al.*, 2003)

7.0 Futuro

Los objetivos del proceso de compostaje según la prioridad que este tiene conforme se adopta, se perfecciona y se estandariza son: 1) inactivación de patógenos encontrados en la materia prima; 2) degradación de la materia orgánica para la formación de compuestos inorgánicos biodisponibles para las plantas o los microorganismos; 3) empleo como enmienda de suelo erosionado; 4) acumulación de elementos nutritivos o precursores en el suelo; 5) comercialización del compost para proyectos o agro-negocios de horticultura, floricultura, en tiendas de mascotas especializadas; 6) uso industrial como la fabricación de tabiques para construcción sostenible de casas así como el empleo del compost estabilizado como material de cubierta de rellenos sanitarios y como biofiltro en granjas donde las medidas de bioseguridad son maximizadas. 7) Protocolos de investigación aplicada, la que puede desarrollarse en cada uno de los puntos anteriores

(Jeavons, 1991; Sauri y Castillo, 2002; Gunadiy Edwards 2003; Lal, 2007; Harrison, 2008; Epstein, 2011; Esquivel, 2012).

8.0 Referencias

Akdeniz, N., Koziel, J. A., Ahn, H-K., Glanville, T. D. and Crawford, B. P. (2010) Field scale evaluation of volatile organic compound production inside biosecure swine mortality composts. *Waste management*, 30; 1981-1988.

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K. and Walter, P. (2015). Cell chemistry and bioenergetics. In: *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science. Sixth Edition. 43-108.

Amir, S., Merlina, G., Pinelli, E., Winterton, P., Revel, J.C. and Hafidi, M. (2008). Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. *Journal of Hazardous Materials*. 159; 593-601.

Audesirk, T., Audesirk, G. and Byers, B. E. (2011). Harvesting Energy: Glycolysis and Cellular Respiration. In: *Biology. Life on Earth*. Ninth Edition. Benjamin Cummings. 127-141.

Barker, A. V. (2010). Composting. In: *Science and technology of organic farming*. CRC Press. Taylor and Francis group. 93-103.

Bernal, M.P, Albuquerque, J. A. and Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. 100; 5444-5453.

Epstein, E. (2011). Basic concepts of composting. In: *Industrial composting*. CRC Press. Taylor and Francis Group; 15-24.

Erickson, L. E. (2009). Bioreactors. In: Encyclopedia of Microbiology. Third Edition. Academic Press. Elsevier Inc. 206-211.

Esquivel, H. (2012). Evaluación sanitaria del composteo sobre la inactivación de cisticercos de *Taeniasolium* en canales de cerdo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.

Gunadi, B., and Edwards, C. (2003). The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eiseniafetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiología*. 47, 321-329.

Harrison, R. B. (2008). Composting and formation of humic substances. In: Encyclopedia of Ecology. Jorgensen, S. E., Faith, B. D. Elsevier. 713-719.

Huang, G. F., Wong, J.W., Wu, Q. T. and Nagar, B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*; 24; 805-813.

Iñiguez, G. (2011). Determinaciones. En: El ABC del compostaje. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Primera Edición. 71-86.

Jeavons, J. (1991). La Composta. En: Cultivo biointensivo de alimentos. Ecology Action of the Mid-Penninsula; 38-52.

Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R. and Zhao, Y. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *Journal of Environmental Sciences* 23, 1754-1760.

Lal, R. (2007). Managing soils for food security and climate change. *Journal of Crop Improvement*. 19; No 37/38; 49-71.

Liang, C., Das, K. C. and McClendon, R. (2003).The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresource Technology. 86, 131-137.

MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B. and Steinfeld, H. 2013.Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains.A global life cycle assessment.Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Mittal. G. S. (2006).Treatment of wastewater from abattoirs before land application: A review. Bioresource Technology 97; 1119-1135.

Morilla, A. (2009).Contaminación Ambiental. En: Manual de bioseguridad para empresas porcinas. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. PrimeraEdición. 231-268.

Olea, R. (2010).Oportunidades para el sector agropecuario ante el cambio climático: uso de biodigestores. Quinto día agrosilvopastoril. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Agrosilvopastoril. Chapa de Mota, México. 12 Noviembre. 9-15.

Pérez, R. (2006). Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua en La Piedad, Michoacán. Primera Edición. UNAM-IIE-FMVZ-I NE.

Pijoan, C. (2006). Regional eradication: An option for today or for the future? Proceedings of the American Association of Swine Veterinarians: 393-394.

Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K. and Swings, J. (2003) Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. Journal of Applied Microbiology 94; 127-137.

Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C. and Berenbaum, M. R. (2014). Community Ecology. In: The Science of Biology. Tenth Edition. Sinauer. MacMillan. 1188-1206.

Sauri, M. R. y Castillo, E. R. (2002). Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. Ingeniería; 6; 55-60.

Tiquia, S. and Tam, N. (2002). Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. Process Biochemistry. 37, 869-880.

Vargas, A. (2009). Aprovechamiento de los desechos en las granjas porcinas y su impacto medioambiental. Convención Nacional de la Federación de Colegios y Asociaciones de Médicos Veterinarios Zootecnistas A.C. Pachuca, Hidalgo.

Vargas, A., Mendoza, S., Martínez, R. y Ciprián, C. (2010). Elaboración de composta con residuos de granja y cálculo del costo de la mano de obra. Memorias del XLV Congreso Nacional de AMVEC, A. C., Acapulco, Guerrero; 108.

Vargas, A., Mendoza, S.E. Trujillo, M.E., y Reyes, L. B. (2013). Compostaje de cadáveres de cerdo y obtención del costo de producción. Primer foro regional sobre bio-ingeniería del compostaje. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. Del 13 al 15 de Noviembre de 2013.

Wilkinson, K. (2007). The biosecurity of on-farm mortality composting. Journal of Applied Microbiology 102, 609-618.

Yeske, P. 2012. Disease control and elimination approaches. Proceedings of the 22nd International Pig Veterinary Society Congress. Jeju, Korea, 63.

Zhu, N. (2007). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*. 98; 9-13.