

Evaluación de dos métodos de aireación para la biodegradación de residuos de lignocelulósicos en los cultivos de uva y espárrago

Evaluation of two aeration methods for biodegradation of lignocellulosic residues in crops of grapes and asparagus

Mario Zapata Cruz¹, Julio Rivera Zumarán², Hugo Villalobos³ y Fátima Amaya Sánchez⁴

Recibido: 15 de noviembre de 2015

Aceptado: 03 de diciembre de 2015

Resumen

Residuos lignocelulósicos de los cultivos de uva y espárrago fueron composteados con el propósito de evaluar y seleccionar un método de aireación aplicable en zonas rurales. Se probaron 2 diferentes métodos de aireación, el manual o mecánico y el pasivo, se instalaron 4 pilas, 2 para cada tipo de residuo y método de aireación. El material lignocelulósico de espárrago se obtuvo de la junta de regantes del valle de Chicama y el de uva de la Asociación de Productores Agropecuarios, Industriales y Exportadores (ASPAIE) de Cascas. El tiempo de estabilización de los desechos estuvo entre 40 y 50

días, para los residuos lignocelulósicos de espárrago y de 60 días para los de uva. El sistema de aireación pasiva no resultó ser el más eficiente en relación al tiempo pero demandó menor esfuerzo y mano de obra. Durante la fase de maduración, se continuó el monitoreo sin observarse cambios significativos.

Palabras clave: Residuos lignocelulósicos, composteo, aireación forzada, aireación pasiva, uva, espárrago.

Abstract

Lignocellulose crop residues from grape and asparagus were composted for the purpose of evaluating and selecting a aeration method applicable in rural areas. 2 different methods of aeration, manually or mechanically were tested and liabilities, settling in 4 batteries, 2 for each type of waste and aeration method. The asparagus lignocellulose material was obtained from the Association of Chicama Valley irrigators and the grape lignocellulose material from the Association of Agricultural Producers, Manufacturers and Exporters (ASPAIE) from Cas-

cas. It was observed that the stabilization time of the waste was between 40 and 50 days, asparagus lignocellulosic residues and 60 days for grape. Passive ventilation system turned out not to be the most efficient in relation to time but demanded less effort and labor. During the maturation phase, continuous monitoring is not seen significant changes.

Keywords: Lignocellulosic waste, composting, forced aeration, passive ventilation, grape, and asparagus.

1 Biólogo. Museo de Historia Natural y Cultural de la Universidad Privada Antenor Orrego.

2 Ingeniero Agrónomo. Aqua Riego S.A.

3 Técnico Agrícola. Asociación de Productores Agropecuarios, Industriales y Exportadores (ASPAIE) Cascas, Gran Chimú.

4 Estudiante de Ingeniería Agrónoma. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

I. INTRODUCCIÓN

En la región La Libertad, dos de los principales cultivos de agroexportación son la uva y el espárrago. En el 2012 la producción de espárrago fue de 190 mil Tm, y para el 2013 se esperó producir 210 mil toneladas de esta verdura. Para el caso de la uva en el 2012, la producción en el departamento de La Libertad alcanzó los 45 mil Tm, con lo cual aportó con casi el 18 % de la producción nacional (MINAGRI, 2013).

Las plagas más comunes en los cultivos de uva son la filoxera (*Dactylospheera vitifoliae*), la Acariosis, producida por el ácaro *Calepitrimerus vitis* Nal. y las cochinillas *Pseudococcus vitis*, *Eulecanium persica* y *Pulvinaria vitis*. Para el espárrago las principales plagas son: gusanos de tierra (*Agrotis* spp.), gusano picador (*Elasmopalpus lignosellus*), Trips: *Thrips tabaci* y *Frankliniella* sp., araña roja: *Tetranychus* sp. y la mosca blanca: *Bemisia* sp. (Instituto Peruano del Espárrago, 2005). Sin embargo, uno de los métodos de control indicado para estas plagas en ambos cultivos es la quema de rastrojos o residuos de la poda y cosecha.

En los vegetales, además de la celulosa y hemicelulosa, está presente la lignina, que es el segundo compuesto regenerable más abundante en la Tierra. La biotransformación de la lignina es un proceso clave en el geociclo del carbono, proceso metabólico realizado por mecanismos oxidantes extracelulares (Higuchi, 1990).

El composteo es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en materia orgánica estable (composta madura), debido a la acción de microorganismos. Tienen una amplia gama de aplicaciones que van desde el tratamiento de residuos agrícolas y municipales hasta desechos de jardinería y cocina (Velasco & Volke, 2003). Los principios básicos del composteo de residuos peligrosos o contaminantes orgánicos son los mismos que para el composteo de desechos no peligrosos. En ambos casos, es necesario optimizar cinco parámetros: aireación, temperatura, humedad, relación carbono nitrógeno y el pH (Ewis et al. 1998). La digestión aerobia es un proceso microbiológico de descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno. Durante este proceso, los microorganismos metabolizan la materia orgánica convirtiéndola en materia celular. Cuando el sustrato orgánico se agota, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma a fin de obtener energía. El tejido celular es oxidado aerobicamente a CO₂, H₂O y NH₃, que es oxidado posteriormente a NO₃. El aporte de oxígeno es importante y su aplicación se realiza por difusores, o revolviendo el material orgánico de manera mecánica, lo que significa elevar los costos de producción en mano de obra y tiempo (Restrepo, 2013).

Evaluar cuál es el efecto en la aplicación de dos formas de aireación en la velocidad y calidad de compost producido a partir de desechos lignocelulósicos de la poda en verde de "uva" (*Vitis vinifera*) y de cosecha en "espárrago" (*Asparagus officinalis*).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Selección y ubicación del terreno

Las pilas de experimentación se construyeron en el predio de la Asociación de Productores Agropecuarios, Industriales y Exportadores (ASPAIE), ubicado en el Sector El Espejo, distrito de Cascas, provincia de Gran Chimú. En el área se cultivan extensamente uva, maíz, arroz y otros productos, por lo que era el área apropiada para la obtención de los residuos de uva, y porque brindó un fácil acceso para el transporte de los insumos del compostaje, suministro permanente de agua y las condiciones climáticas favorables para su normal desarrollo.

Obtención de material lignocelulósico

El material lignocelulósico del cultivo de uva (500 kg) fue proveído por los agricultores de la Asociación de Productores, Agropecuarios, Industriales y Exportadores del sector El Espejo, distrito de Cascas, provincia Gran Chimú. El material lignocelulósico de los residuos de la cosecha de espárrago (500 kg) se obtuvo de la Junta de regantes del valle de Chicama.

Construcción de pilas de degradación.

Homogenización

El material lignocelulósico para ambos tratamientos fue parcialmente triturado a fin de homogenizar las

partículas de ambos materiales y asegurar una mayor cobertura para la actividad microbiana.

Construcción de las pilas

Se construyeron 4 pilas de 2 metros de largo, 1.30 de ancho y 80 cm de alto. A las cuales se les introdujo tubos de PVC de 3" perforados con agujeros de ½ "(fig. 1), de manera que puedan suministrar aire al interior de las pilas de compostaje. La composición de cada pila se muestra en la

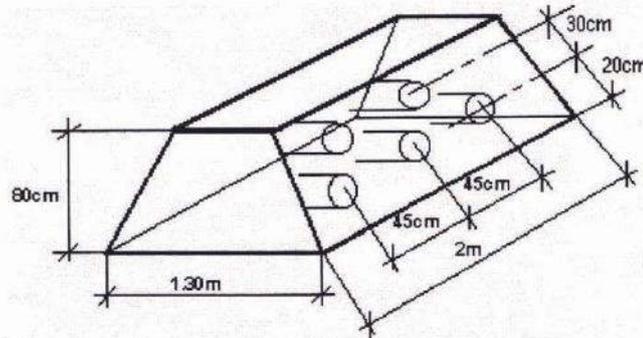


Fig. 1. Diseño de las pilas de experimentación

Cuadro 1. Composición de las pilas de experimentación

Pila	Aireación	Mat. cobertura	Cobertura		Tipo de sustrato	Sustrato		Peso total (Kg)
			Kg	%		Kg	%	
1	Pasiva	Estiércol vaca	25	12	Residuo poda uva	237	88	262
2	Mecánica	Estiércol vaca	25	11.4	Residuo poda uva	248	87.6	273
3	Pasiva	Estiércol vaca	25	10.7	Residuo poda espárrago	252	88.3	277
4	Mecánica	Estiércol vaca	25	11	Residuo poda espárrago	249	89	274

Monitoreo

La evaluación de ambos procesos consistió en el monitoreo de los factores que intervienen en el proceso de compostaje como son: temperatura, humedad, aireación, relación carbono-nitrógeno, pH y tiempo de compostaje.

Temperatura. La actividad microbiana en el interior de la pila generó un aumento de la temperatura, la cual se mantuvo entre los 55 y 70 grados centígrados. Este intervalo asegura la eliminación de microorganismos patógenos presentes en la pila de compostaje. Por el contrario, temperaturas mayores afectarían la supervivencia de todo tipo de microorganismos dando como consecuencia una disminución en la población microbiana. A su vez temperaturas menores a 50 grados afectaría la velocidad en la actividad metabólica de los microorganismos, prolongando el tiempo de compostaje. Así, existen distintas fases en función de la temperatura, como son las fases mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración. De acuerdo a las fases por las que atraviesa la descomposición de materia orgánica, la temperatura cambió gradualmente hasta alcanzar un máximo de 70 grados centígrados para luego descender y estabilizarse. La temperatura al término del proceso se mantuvo estable y alcanzó el grado de la temperatura ambiental.

Humedad. Un buen compost no debe estar demasiado seco ni demasiado húmedo. Durante el proceso se mantuvo controlado este factor. El grado de humedad depende del tipo de materia, por ejemplo para materiales fibrosos o residuos forestales el grado idóneo es de 75 - 85%, mientras que para material fresco es de 50 - 60%. Aunque se puede tomar como valor óptimo un 50 - 60%. Por debajo de 40% se reduce la actividad microbiana (los hongos resisten algo más) y por debajo de 20% el valor es altamente restrictivo. Pero por otro lado, tampoco es bueno el exceso de agua, ya que el agua desplazaría el aire de los espacios porosos, produciendo malos olores debido a que se establecen situaciones anaerobias. Se realizaron pruebas de humedad durante todo el proceso mediante el método gravimétrico indirecto por desecación.

Aireación. Este factor es importante únicamente en el caso de que el método de compostaje sea aeróbico y por tanto debe ser controlado según el tipo de método empleado. Al tratarse de un proceso aeróbico, el oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan realizar la descomposición. Por ello se mantuvo un nivel de oxígeno óptimo, evitando que se produzcan situaciones anaeróbicas que redujeran la velocidad del proceso, con lo cual también se evita la producción de malos olores que reducirían la calidad del producto. La aireación de la pila de compost es necesaria ya que durante la fase biooxidativa, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20%, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un 5%. Con la aireación, conseguimos elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlamos con ello otros factores importantes como la temperatura o la humedad. Por otro lado, también hay que tener cuidado con la excesiva aireación de la pila ya que podría provocar el enfriamiento del material, así como un incremento de la evaporación de agua, lo que supondría la reducción de la actividad microbiana.

Para el experimento se diseñó una red de tuberías dispuestas en el interior de las pilas de experimentación, de tal manera que el aire ingresó continuamente en toda la pila suministrando el oxígeno necesario para la actividad de los microorganismos, no fue necesario revolver el material.

Relación carbono-nitrógeno. La relación carbono-nitrógeno se controla en su inicio por la utilización de materiales ricos en estas sustancias y utilizados para el compostaje. Entre las fuentes de materia carbonada tenemos: ceniza, restos de cosechas, hierba seca, malezas, etc. Entre las fuentes de materia nitrogenada tenemos: desechos animales (estiércol - urea), desperdicios de cocina, hierba tierna, materia orgánica verde fresca, harina de pescado etc. La relación carbono nitrógeno óptima para el compost es 25 / 1.

El carbono y el nitrógeno son dos elementos importantes en el proceso de compostaje ya que además de soportar el crecimiento microbiano son elementos básicos de la materia orgánica a compostar. El carbono es aproximadamente el 50% de la masa celular, así como fuente de energía metabólica. El nitrógeno por su parte es un componente mayoritario de ácidos nucleicos, proteínas estructurales, enzimas y coenzimas, todo necesario para el crecimiento y desarrollo de las funciones microbianas. Durante el proceso se determinó la relación carbono nitrógeno mediante el análisis del contenido de nitrógeno en la fase final.

pH. El pH es un factor muy importante que influye activamente sobre la actividad microbiana ya que las bacterias y los hongos se desarrollan óptimamente a valores de pH diferentes. Las bacterias tendrán su máximo de desarrollo a pH de 6 y 7,5 mientras que los hongos los tendrán a valores entre 5 y 6. Gracias a las fracciones de materia orgánica que van siendo biotransformadas en las distintas fases del proceso, sabemos cómo varía el pH. Se tomaron muestras para determinar la evolución del pH durante todo el proceso de compostaje en todas las pilas de experimentación usando un medidor de pH portátil.

Tiempo de compostaje. El tiempo de compostaje varió en función al método de aireación y según el tipo de sustrato. El tiempo promedio que el compostaje utiliza en atravesar las fases anteriormente mencionadas es de aproximadamente 6 meses, pudiendo variar en función de las condiciones climáticas, la metodología utilizada y el control que tenga sobre el proceso.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura. La temperatura de las pilas varió durante el proceso, como se muestra en la figura 2. La etapa mesofílica (<40-45°) fue rápida en todas las pilas tardando a lo máximo 48 horas. Después de este tiempo la temperatura se elevó hasta la etapa termofílica registrándose ésta durante periodos de 1 a 2 semanas con máximos de 53°C, 59°C, 54°C y 63°C en las pilas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Durante esta fase se observaron algunas caídas de temperatura en las pilas 1 y 3 (con aireación mecánica), la que se recuperaba al día siguiente, después de voltear y humedecer los materiales. El promedio de temperaturas máximas mantenido durante 48 horas en las pilas 1 y 3 fue mayor a los 55 °C (durante 48 horas), siendo este el valor mínimo recomendado para garantizar la remoción de la micoflora patógena, con la cual se garantizó la sanidad de estas compostas, lo que no ocurrió con los productos de las pilas 2 y 4 con aireación pasiva.

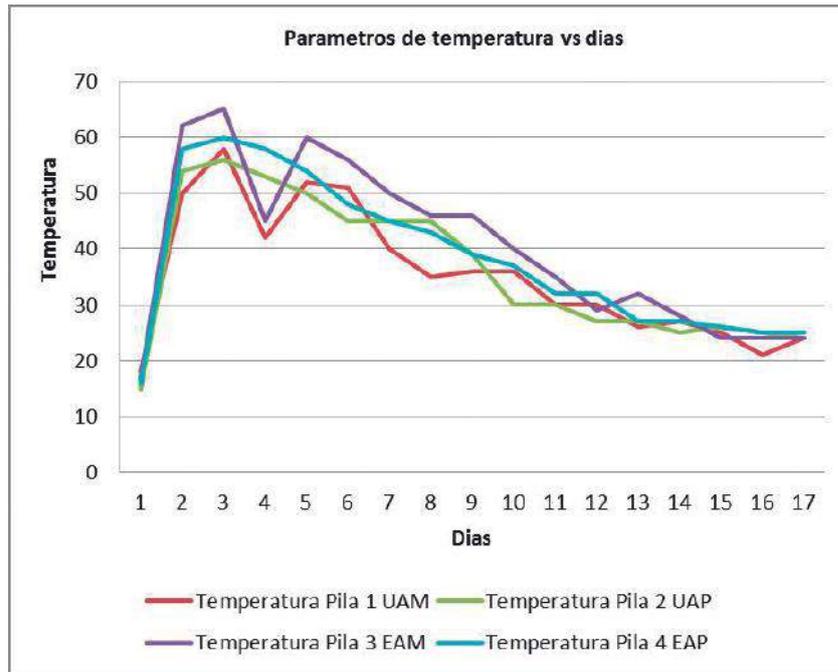


Fig. 2. Evolución de la temperatura durante el proceso.

La tercera fase se inició con el descenso gradual del perfil de temperatura en todas las pilas, debido a una baja en la actividad microbiana como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación, finalizando cuando las temperaturas de las pilas se aproximaron a la del ambiente o la igualaron (Mooijman et al. 1987). Así las pilas 2 y 4 se estabilizaron aproximadamente en el día 35 y las pilas 1 y 3 en el día 53. Las pilas 1 y 3 con aireación manual fueron mejores que las pilas 2 y 4 con aireación pasiva en la destrucción de microorganismos patógenos, garantizando compostas más sanas. Desde el punto de vista de la estabilización de desechos, la pila 2 fue mejor que las otras 3, al estabilizarse en menos tiempo. Sin embargo, para garantizar la sanidad de la composta, requiere de análisis microbiológicos detallados, los cuales no han sido contemplados en el presente estudio.

pH. Contrario a lo reportado por otros autores (Diaz et al., 1996), la diferencia del pH inicial de las pilas 1 y 2, respecto a las pilas 3 y 4, se atribuye a la composición de los desechos, los cuales en las pilas 1 y 2 se encontraban parcialmente frescos y con presencia de restos de frutos biodegradados con la consecuente presencia de ácidos orgánicos que acidificaron aún más el medio. El material de las pilas 3 y 4 fueron desechos que estaban parcialmente secos, alcanzando valores arriba de 8 en las primeras 2 semanas del proceso (fig.3). Estos ascensos coincidieron con los días de mayor actividad microbiana en la etapa termofílica.

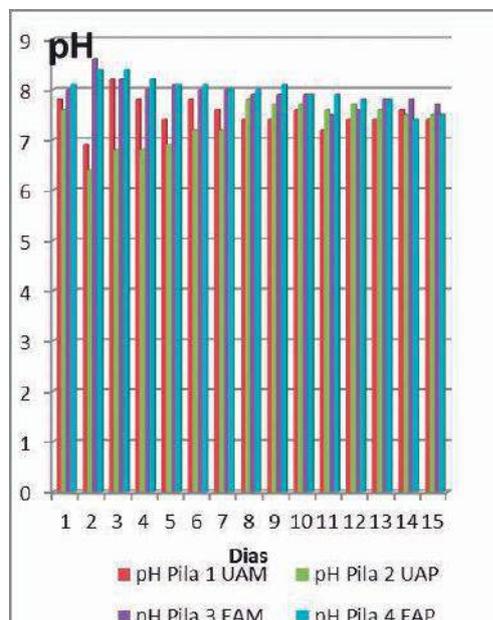


Fig. 3. Evolución del pH durante el proceso.

La composición inicial del material de las pilas 1 y 2 no favoreció la pronta realización del proceso, por los compuestos que en el predominaron como: celulosa, lignina y pectinas. Las pilas 1 y 3 fueron beneficiadas por factores operacionales como volteos mecánicos. Al mezclarse el sustrato con el material de cobertura existió cierto aporte de microorganismos que sirvieron como inóculo inicial. Lo mismo no ocurrió en la pilas 2 y 4, ya que el modo de operación fue diferente, en este caso, el sistema de aireación empleado fue el de aireación pasiva, permaneciendo el material de cobertura como tal.

Humedad. El contenido de humedad de las pilas se mantuvo en el rango de 45 a 70% durante todo el proceso (fig.4), que es el rango óptimo para el buen funcionamiento del mismo (Diaz et. al., 1996). En general el contenido de humedad fue adecuado en todas las pilas, a excepción de un valor cercano al 80%, que se presentó al inicio del proceso en la pila 1, y el 84% detectado en la base de la pila 4 hacia el día 20. El primer caso se debió a la composición inicial del sustrato, el cual contenía material de poda en fresco y con alto contenido de agua, registrándose un contenido elevado de humedad inicial., el segundo es consecuencia del método de aireación de la pila que permaneció estática durante todo el proceso, porque la superficie sobre la cual se instaló sin pendiente alguna, permitió que un exceso de agua se alojara en la base.

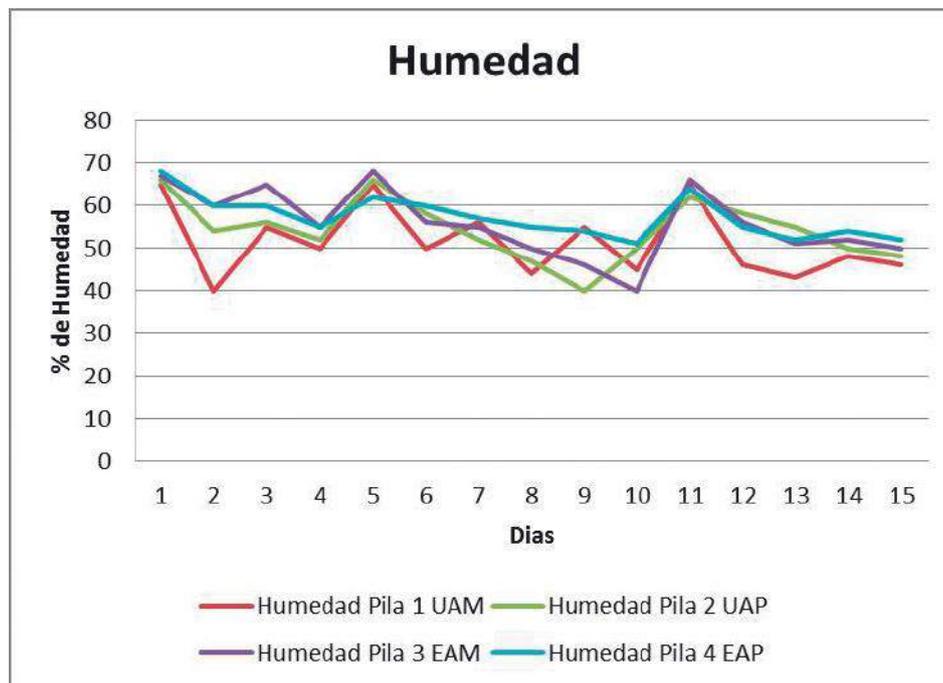


Fig. 4. Variación del contenido de humedad durante el proceso

Sistema de aireación. Las pilas 1 y 3 se voltearon en 9 y 14 ocasiones, respectivamente. A la pila 1 se le adicionaron 3 porciones de agua, y a la pila 4 siete porciones. Las pilas con aireación pasiva (pilas 2 y 4), se humedecieron en su capa externa cuando ésta se encontró seca. Durante todo el proceso, la pila 2 se humedeció únicamente en 3 ocasiones con porciones de 7 litros de agua, lo que muestra que el composteo con aireación pasiva minimizó las pérdidas de humedad, coincidiendo con lo mencionado por Mathur (1991).

Por otra parte, el volteo a los materiales evita la acumulación excesiva de ácidos orgánicos intermediarios y la producción de malos olores originados por compuestos volátiles de azufre y nitrógeno y evita la compactación experimentada cuando la pila es estática (Jackson & Line, 1998). Tres volteos en promedio durante las primeras 2 semanas de proceso, resultaron suficientes para favorecer el desarrollo del experimento en la fase termofílica, alcanzándose temperaturas lo suficientemente altas para la sanidad de la composta. Para el resto del proceso, con 1 o 2 volteos a la semana el contenido de humedad siguió manteniéndose por arriba del 45% en promedio. En general, con esta frecuencia de volteos, el proceso se realizó adecuadamente en ambas pilas.

Relación C/N. Para el presente estudio se realizaron análisis de carbono y nitrógeno en la etapa final o de estabilización. Las relaciones de C/N de las pilas oscilaron entre valores de 17 a 19, valores que para algunos investigadores (Hue & Liu, 1995) son altos como índice de estabilidad, ya que proponen relaciones C/N <17. Otros (Adani et al., 1995) han concluido que no es un buen indicador de la materia orgánica, porque las cantidades finales de carbono y nitrógeno están en función del tipo de sustrato composteado. Sin embargo en el presente estudio, las pilas con aireación pasiva presentaron una relación C/N final menor a 20, coinci-

diendo con lo realizado por Liao et. Al (1994) en diferentes experimentos de composteo, en donde las compostas estables han registrado relaciones C/N menores a 20.

IV. CONCLUSIONES

El composteo de residuos lignocelulósicos de los cultivos de uva y espárrago puede realizarse exitosamente bajo condiciones de poco desarrollo tecnológico y bajo costo de operación. El método de aireación pasiva permite suministrar el aire necesario para el desarrollo del proceso de forma natural, mediante el sistema de ventilación conformado por tubos perforados, distribuidos uniformemente en el interior de la pila. El método de aireación mecánica es favorable, pues acelera el proceso de compostaje de residuos lignocelulósicos de uva y espárrago en comparación con el método de aireación pasiva. El sistema de aireación pasiva no resultó ser el más eficiente en el tiempo pero demandó menor esfuerzo y mano de obra, reduciendo costos operativos de producción. Ambos métodos de aireación son aplicables y la selección del procedimiento debe hacerse con base en las condiciones locales, especialmente económicas.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Vicerrectorado de Investigación, de la Universidad Privada Antenor Orrego, que a través de la convocatoria del Fondo de Apoyo a la Investigación permitió la ejecución del presente proyecto.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adani F. P. L. & Tambone F. 1995. A new index of Organic Mater Stability. *Compost Science & Utilization*, Mila Italy. Vol. 3 N° 2, pp 25 – 37.
- Delfín-Alcalá, I & C. Durán de Bazúa. 2003. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 19(1): 37 – 45.
- Diaz L. F., Savage G. M., Eggerth L. L. & Golueke C. G. 1993. *Solid Waste Management for Economically Developing Countries*. ISWA. California. USA.
- Ewis, J. B.; S.J. Ergas; D.P. Chang & E.D. Schroeder. 1998. *Bioremediation principles*. McGraw-Hill International Edition. 296 pp.
- Higuchi T. 1990. Lignin biochemistry: biosynthesis and biodegradation. *Wood Sci Technol.* 24:23-63.
- Hue N. V. & Liu J. 1995. Predicting compost estabily. *Compost Science & Utilization*. Honolulu, Hawaii. Vol 3. N° 2. pp. 8 – 15.
- Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas. 2005. *Metodología de evaluación de plagas y enfermedades en el cultivo de espárrago*. Lima – Perú.
- Liao P. H., Vizcarra A. T., Chen A. & Lo K. V. 1994. Composting of salmon farm mortalities with passive aeration. *Compost Science & Utilization*. Vol 2. N° 4. pp. 58-66.
- Mathur. 1991. *Composting Processes*, In: Martin (ed.) *Bioconversion of waste materials to Industrial Products*. Elseiver. pp. 147 – 183 Citado por: Liao, P.H. Vizcarra, A. T., Chen, A. & Lo K. V. 1994. Composting of salmon Farm Mortalities with Passive Aeration. “*Compost Science and Utilization*” Vol. N°2, N° 4, pp. 58 – 66.
- Mooijman K. A. & Lustenhoumer. 1987. Maturity Assesment in Food Waste Recycling. Vol. 28 N° 2. pp 34 – 45.
- Reátegui, K.; H. Zenteno; C. Hernández & L. Quirós. 2006. Evaluación del sistema de producción de em-compost utilizando aireación forzada y residuos de banano. *Tierra Tropical* 2 (2): 169-175
- Restrepo, A. P. 2013. Valorización mediante compostaje de la fracción sólida de residuos ganaderos digeridos por biometanización y evaluación de sus potenciales usos agronómicos. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández de Elche. 214 pp.
- Sauri, M.; H. Nájera; J. Ramírez & G. Mejía. 2002. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutos producidos en zonas de alta generación. *Ingeniería Revista Académica* 6(1): 13 – 20.
- Velasco, J. & T. Volke. 2003. El Composteo: Una alternativa tecnológica para la bioremediación de suelos en México. *Gaceta Ecológica* 66: 41 – 53.



Arquitecto Shigeru Ban
Obra Japan Pavilion (pabellón) / Fotografía: Hiroyuki Hirai