

Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar

Cintia Chandler, José Ferrer, Zulay Mármol, Gisela Páez, Eduardo Ramones y Rocendy Perozo

*Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.
E-mail: cchandler@luz.edu.ve.*

Resumen

Se estudió la producción de abono orgánico a partir del bagacillo de caña de azúcar mediante el compostaje en un biorreactor cilíndrico de lecho empacado de 100 L de capacidad. Las condiciones de operación del equipo permitieron variar el caudal de aire entre 40, 50 y 60 L/min y el tiempo de aireación durante dos y tres horas en el día. A los quince días del proceso se obtuvieron valores de pH entre 7,04 y 7,85 para dos y tres horas de aireación, respectivamente, valores adecuados para ser utilizados para la siembra de cultivos. La temperatura alcanzó valores máximos promedios de 54°C, lo cual asegura la calidad microbiológica del producto obtenido, debido a que no permite el desarrollo de microorganismos patógenos. El análisis de varianza aplicado a los resultados, mostró que el efecto causado por el flujo de aire y el tiempo de aireación no fue significativo sobre los contenidos de nitrógeno y carbono. Se observó que el tiempo de aireación tuvo un efecto significativo sobre la relación carbono/nitrógeno (C/N). De los diferentes tratamientos empleados, las condiciones de 50 L/min y 2 horas de aireación, garantizaron la obtención de un buen abono orgánico con un menor consumo de energía, con valores de nitrógeno de 0,42%; valores de carbono de 63,83% y una relación C/N de 160,14.

Palabras clave: Biodegradación aeróbica, bagacillo de caña de azúcar, aireación, compostaje.

The Effect of Airation on Sugar Cane Bagasse Composting

Abstract

Organic fertilizer production based on sugar cane bagasse was studied by composting in a packed bed cylindrical bioreactor with a 100 L capacity. The equipment operation conditions permitted a 40, 45 and 60 L/min variation in the air flow and a two- and three-hour variation in aeration time during the day. Fifteen days after the process, results showed pH values between 7.04 and 7.85 for two-hour and three-hour aeration, respectively, which are suitable values for use in planting crops. Temperatures reached a maximum average value of 54°C, assuring the microbiological quality of the product obtained because it did not permit pathogenic micro-organism development. Variance analysis applied to the results showed that the effect caused by the air flow and the aeration time on nitrogen and carbon content was not significant. It was noted that the aeration time had a significant effect on the carbon/nitrogen (C/N) relation. Of all the different treatments used, the 50 L/min and two-hour aeration conditions guaranteed the production of a good organic fertilizer with lower energy consumption, 0.42% nitrogen values; 63.83% carbon values and a 160.14 C/N relation.

Key words: Aerobic biodegradation, sugar cane bagasse, aeration, composting.

Introducción

En Venezuela, la actividad agro-industrial de la caña de azúcar para producir azúcar comercial, genera grandes cantidades de desechos lignocelulósicos, conocidos como bagazo y bagacillo [2]. El bagazo presenta fibras largas, lo cual permite su uso en la industria de producción de papel blanco y cartón. El bagacillo, por otro lado, tiene fibras cortas que no son adecuadas para tal fin, ya que el papel producido no tiene resistencia suficiente que garantice un producto de calidad. Esto coloca al bagacillo de caña de azúcar como un desecho agroindustrial, de grandes volúmenes de producción, con posibilidades de servir de materia prima para desarrollar alternativas biotecnológicas que permitan obtener productos de gran utilidad [6, 11].

Recientemente, se han llevado a cabo investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de los desechos generados en la agroindustria de la caña de azúcar, específicamente con el bagacillo, orientadas hacia el estudio de la cinética de la hidrólisis ácida de dicho desecho [6] y la producción de proteína microbiana utilizando el hidrolizado producido [5].

En las últimas tres décadas la industria de la caña de azúcar y los desechos generados en la misma, han experimentado un gran desarrollo a nivel mundial y cada día adquieren mayor importancia como fuentes de materia prima para la producción de: pasta para papel, papel de embalaje, cartón ondulado y de caja, tableros de fibra; combustible (energía eléctrica, briquetas de carbón, metano), productos diversos como furfural, materias plásticas, cementos de bagazo; en acondicionamiento de terrenos de cultivo (compost) y como alimento animal, debido al contenido de celulosa y hemicelulosa que poseen. Entre las llamadas fibras residuales, el bagacillo de caña de azúcar está considerado como el mejor y más versátil, de allí la importancia que tiene para los países productores de caña [21].

Por cada tonelada de azúcar cruda producida se pueden obtener alrededor de 2,2 toneladas de bagazo húmedo. En su composición tiene entre 48 y 52% de humedad, de 50 y 53% de sólidos totales y de 2 a 3,5% de sacarosa. Desde el punto de vista morfológico, está constituido alrededor del 60% de fibras, 30% de médula o parénquima y 10% de compuestos solubles. En base seca, contiene aproximadamente 40% de celulosa, 27% de hemicelulosa, 20% de lignina y 13% de sustancias solubles [14].

Debido al gran volumen y disponibilidad del bagacillo de caña de azúcar, este puede ser empleado para producir compostaje [13].

El compost es un abono orgánico que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen vegetal y animal que han sido descompuestos bajo condiciones controladas, en montones o pilas [12]. Este método involucra el procesamiento de los residuos biodegradables mediante la optimización de todos los factores que intervienen en el proceso de humificación. En la preparación de los abonos orgánicos se debe lograr un balance adecuado de los componentes empleados, lo cual se obtiene sólo a través de la práctica, con el fin de mantener una relación Carbono /Nitrógeno (C/N) óptima y de establecer un monitoreo y control constante de todas las condiciones ambientales, del desarrollo de la descomposición por microorganismos y los cambios que van experimentando los materiales durante el proceso. En el compostaje, la aireación es fundamental para que la descomposición se lleve a cabo por la acción de los microorganismos presentes en el bagacillo [17].

Desde el punto de vista agroindustrial, en Italia se han llevado a cabo diferentes tipos de compostaje utilizando desechos de tomates, residuos de corcho, cáscara de olivo y lodos de tenerías vegetales como sustrato, obteniendo un producto final con contenido de nitrógeno, fósforo y potasio adecuados para ser utilizados como fertilizante [7].

En Venezuela se han venido desarrollando compostaje con diferentes desechos agroindustriales, tales como café, bagazo de uva, bagazo de caña de azúcar, obteniéndose productos que pueden ser utilizados como abono orgánico, debido al cambio que se produce durante el proceso en sus características físicas, químicas y organolépticas [8, 9, 10, 18].

Entre los beneficios de utilizar este tipo de abono orgánico en la agricultura, obtenido mediante el proceso de compostaje, se encuentra la reducción del uso de fertilizantes químicos, evitando de este modo la esterilización de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua. Por otro lado, se detiene la erosión de los suelos y mejora su fertilidad, ya que es una fuente de materia orgánica rica en humus, el cual posee los elementos minerales que las plantas necesitan para su desarrollo [21].

El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar el efecto del flujo de aire en la cinética de biodegradación del bagacillo de caña de azúcar utilizando dos tiempos de aireación.

Metodología

Materia prima

El bagacillo de caña de azúcar variedad Puerto Rico fue suministrado por la Central Azucarera La Pastora, ubicada en la Carretera Panamericana Carora, estado Lara. Se transportó una cantidad de 300 Kg. El desecho secado (estufa Memmert 840 Schwabach, modelo 772534, Alemania) y molido (molino Thomas Wiley Laboratory Mill Modelo 4, de Thomas Scientific, USA) fue cernido a través de un tamiz de 20 mesh, para homogeneizar las partículas a un tamaño menor o igual a 0,84 mm. El mismo fue mantenido a temperatura ambiente en bolsas plásticas cerradas herméticamente hasta el momento de su uso [5].

Bioproceso aeróbico

Se pesaron 8,7 kg de bagacillo de caña de azúcar y se adicionaron 10% de melaza como activador del proceso y 10,5 L de agua para proveer la humedad adecuada para los microorganismos en los procesos aeróbicos de 2 y 3 horas de aireación en el día. El material se colocó en un biorreactor, que consistió en un tanque cilíndrico de acero inoxidable con una capacidad de operación de 100 L., con un sistema de disposición del lecho (soporte de plástico que posee una serie de orificios que garantizan la circulación del aire uniformemente por el desecho) y con una cámara de aire en la parte inferior del mismo. La aireación se realizó con un compresor conectado al biorreactor y con un rotámetro intercalado para medir el flujo de aire.

Una vez que el equipo se instaló, se procedió a realizar las corridas para los tres flujos de aire (40, 50 y 60 L./min) y los tiempos de aireación de dos y tres horas, determinando a diario el pH, la humedad y la temperatura, mientras que el contenido de carbono, nitrógeno y el conteo de microorganismos se analizaron al inicio y al final del proceso. La medición de la temperatura, se realizó con un termómetro tipo reloj marca Hanna (Italia). Todos los análisis se establecieron por triplicado.

Bioproceso anaeróbico

A 8,7 kg de bagacillo de caña de azúcar, se adicionaron 9,5 L. de agua, para aportar a los microorganismos la humedad adecuada para su desarrollo, la cuál está comprendida entre 50 - 65% [7]. Posteriormente, este material se colocó en el biorreactor, sin el sistema de disposición del lecho. El equipo fue tapado para conseguir anaerobiosis, por un lapso de 45 días; luego de transcurrido este tiempo, se destapó y se realizaron los análisis correspondientes por triplicado.

Análisis físico-químico y microbiológico del bagacillo de caña de azúcar

Carbono. El porcentaje de carbono se determinó por absorción de CO₂ en un microanalizador de carbono Hereaus, (W. C. Hereaus, GMBH, Hanau, Alemania). El método consistió en la destrucción oxidativa de la muestra en una corriente de oxígeno, por lo cual el carbono se transforma cuantitativamente en dióxido de carbono. El producto final de ésta reacción, se recoge con un agente adecuado de absorción (ascarita) para el CO₂. Posteriormente la cantidad de CO₂ se determinó por diferencia de pesada y finalmente se obtiene el carbono presente en la muestra [9].

Nitrógeno. El equipo utilizado es el aparato de digestión y de destilación Kjeldahl, y el método aplicado fue el de Kjeldahl, cuyo principio es que el nitrógeno contenido en la muestra se transforma en sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en caliente. El residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio, para formar hidróxido de amonio que se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego es titulada con ácido clorhídrico estandarizado [1].

Humedad. Se utilizó una balanza de humedad marca Metler Toledo LJ16, (Geifensee, Suiza), por dos horas y a una temperatura de 105°C [1].

pH. El potencial de hidrógeno (pH) se determinó triturando 5 g de bagacillo de caña de azúcar, diluyendo en 50 ml de agua destilada e introduciendo el electrodo para realizar la medida. Se empleó un potenciómetro marca Metrohm 744 (Herisau, Suiza) [1].

Contaje de colonias de hongos y bacterias. Se pesaron 50 g de bagacillo de caña de azúcar y se añadieron 450 ml de agua peptonada estéril. Se prepararon diferentes diluciones desde 10⁻¹ hasta 10⁻⁶. Luego se siembra en las cápsu-

las de petri por el método de la placa vertida. Las bacterias se incubaron a una temperatura de 37°C por 24 horas y los hongos se incubaron a una temperatura de 30°C por un tiempo de 48 horas. El contaje se realizó con un contador de colonias Darfield Québec American Optical. Los medios de cultivo utilizados fueron agar nutritivo y agar extracto de malta para el desarrollo de las bacterias y los hongos, respectivamente. Se esterilizó en autoclave a 121°C por 15 minutos [20].

Análisis estadístico

El análisis de los resultados se realizó con el programa estadístico SAS [19]. Se efectuaron análisis de varianza a cada una de las variables estudiadas y se realizó la prueba de medias de Tuckey al conseguir diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización físicoquímica y microbiológica del bagacillo de caña de azúcar variedad Puerto Rico, empleado en los diferentes bioprocesos.

El pH inicial del sustrato fue de 5,10 (Tabla 1), alcanzando un pH final entre 7,04 y 7,85 para 2 horas de aireación y de 6,52 y 7,11 para las 3 horas al finalizar el proceso en 14 días (Figura 1). Estos resultados concuerdan con los reportados por otros investigadores [4, 7, 8, 22]. El pH a medida que transcurre el tiempo se incrementa. Todos los compost aeróbicos tuvieron un pH final entre 6 y 7; lo cual demuestra que hubo pérdida de ácidos orgánicos y liberación de amoníaco por efecto de la descomposición microbiana [4].

El pH estuvo entre los niveles óptimos (5 -8) para el crecimiento de hongos y para las bacterias (6-7,5), estos valores son adecuados para un buen crecimiento microbiano.

Tabla 1. Caracterización química y microbiológica inicial del bagacillo de caña de azúcar.

Indicadores	Bagacillo	Bagacillo 10% melaza y 10,5 litros de agua
pH	4,15	5,10
Humedad (%)	8,00	49,80
Nitrógeno (%)	0,21	0,36
Carbono (%)	31,98	199,38
Relación C/N	152,29	553,83
Contaje de hongos (UFC/ml)	62 10 ⁶	62 10 ⁶
Contaje de bacterias (UFC/ml)	80 10 ⁶	62 10 ⁶

Peso en base seca.

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

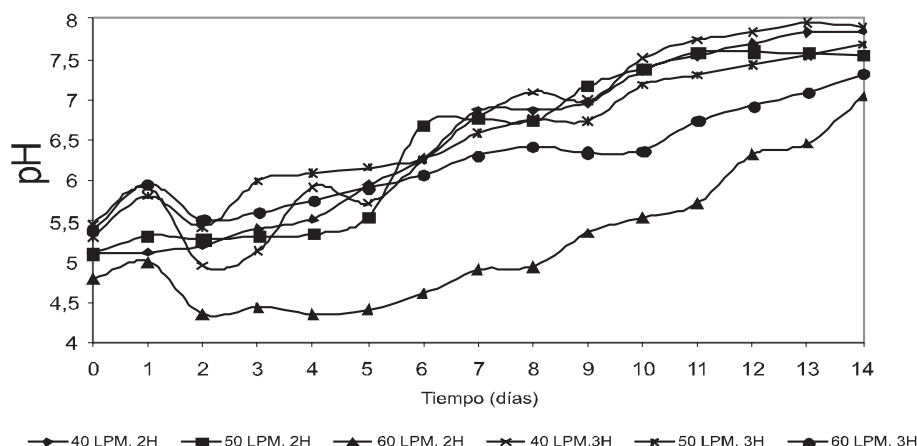


Figura 1. Variación de pH para los diferentes flujos de aire (40, 50 y 60 LPM) a 2 y 3 horas.

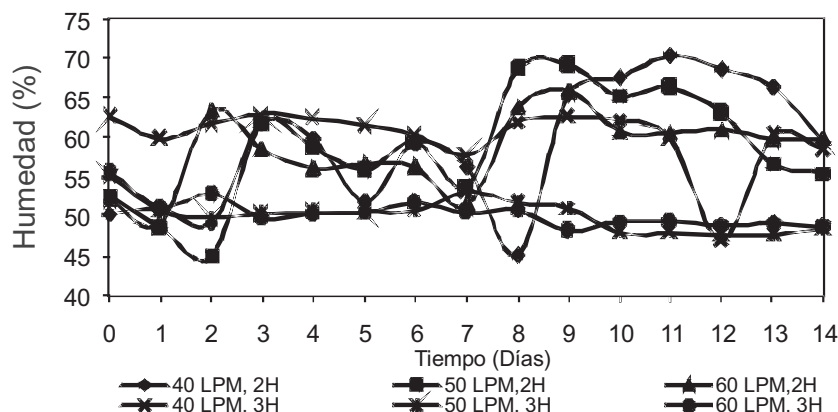


Figura 2. Variación del contenido de humedad para los diferentes flujos de aire (40; 50 y 60 LPM) a 2 y 3 horas.

% de humedad

La Figura 2 muestra el contenido de humedad durante el proceso de compostaje para los diferentes flujos de aire evaluados, se observa que este parámetro se mantuvo en un rango entre 50 y 70%, valores adecuados para llevar a cabo la biodegradación. Ferrer et al. [8], reportaron un rango óptimo de contenido de humedad durante el compostaje de bagazo de uva mediante aireación forzada entre 22,52 y 73,56%. El contenido de humedad adecuado para un compostaje aeróbico satisfactorio varía con la naturaleza de los materiales empleados [13].

% de nitrógeno

El contenido de nitrógeno al inicio del bioproceso aeróbico fue de 0,36% (Tabla 1), y al final del proceso los valores estuvieron comprendidos entre 0,40 y 0,45%, lo cual representa incrementos entre un 10 y 20% para los flujos de aire de (40, 50 y 60 L/min) a 2 y 3 horas de airea-

ción (Tabla 2). Este incremento pudiera asociarse al uso del nitrógeno por parte de los microorganismos para sintetizar el protoplasma celular, y al hecho los microorganismos al morir incrementan la concentración de nitrógeno reciclable durante el proceso [8]. Ferrer y et al. [9], obtuvieron valores de nitrógeno de 2,99%, mediante convección forzada y de 3,23% mediante convección libre en pulpa de café. Otros autores, reportaron valores de nitrógeno entre 0,69 y 4,2% empleando diferentes desechos agroindustriales [4, 15, 22, 23]. Los valores de nitrógeno obtenidos en esta investigación, son inferiores a los reportados en esos estudios.

% de carbono

El bagacillo de caña con 10% de melaza garantizó el desarrollo de los microorganismos. La fuente de carbono tuvo un incremento de 83,96% por la melaza adicionada.

En relación al porcentaje de Carbono para el bagacillo de caña con melaza al inicio, fue de 199,38 (Tabla 1). En la

Tabla 2. Composición química y microbiológica en los diferentes compostajes.

Indicadores	Bioproceso Anaeróbico	40L/min L/min	50L/min	Bioprocesos Aeróbicos			
				60L/min	40L/min	50L/min	60
Tiempo	45 días	2 horas	2 horas	2 horas	3 horas	3 horas	3 horas
pH	5,56	7,85 ^a	7,55 ^a	7,04 ^a	6,52 ^a	7,11 ^a	6,79 ^a
Humedad (%)	62,80	59,40 ^a	55,56 ^a	59,99 ^a	59,77 ^a	56,71 ^a	53,73 ^a
Nitrógeno (%)	0,38	0,45 ^a	0,42 ^a	0,42 ^a	0,42 ^a	0,40 ^a	0,43 ^a
Carbono (%)	11,12	67,26 ^{ab}	63,83 ^{ab}	77,81 ^{ab}	68,34 ^{ab}	71,67 ^{ab}	80,65 ^{ab}
Relación C/N	29,26	149,47 ^{bc}	160,14 ^{bc}	185,26 ^{bc}	162,71 ^{bc}	179,17 ^{bc}	187,55 ^{bc}
Contaje de hongos (UFC/ml)	56 10 ⁶	12 10 ⁷	12 10 ⁷	18 10 ⁷	11 x 10 ⁷	10 x 10 ⁶	63 x 10 ⁵
Contaje de bacterias (UFC/ml)	14 10 ⁷	11 10 ⁷	22 10 ⁷	23 10 ⁷	21 x 10 ⁶	12 x 10 ⁶	16 x 10 ⁶

¹Peso en base seca, UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

a: no significativas (P>0,01; P<0,05)

b: significativas (P<0,01)

c: significativas (P>0,05)

Tabla 2 se reportan los valores correspondientes de % Carbono para el bioproceso anaeróbico (11,12) y para los bioprocesos aeróbicos (67,26; 63,83 y 77,81 a 2 horas y de 68,34; 71,67 y 80,65 a 3 horas) para los diferentes flujos de aire 40; 50 y 60 L/min. Esta disminución en el % de Carbono indica que parte de este fue consumido por los microorganismos para su crecimiento y otra parte del carbono es transformado en CO₂ y desprendido al ambiente.

Zaccheo et al. [23]; Lawson et al. [16], Ferrer et al. [8]; trabajando con materiales como paja de centeno, estiércol de aves y bagazo de uva, reportaron valores de % de Carbono de 36,50; 51,6 y 37,72, respectivamente. Los valores de los porcentajes de carbono obtenidos en este estudio, se encuentran por encima de los reportados por estos investigadores.

Relación C/N

La relación C/N inicial al inicio del proceso fue de 553,83 (Tabla 1), disminuyendo al final hasta valores comprendidos entre 149,47 y 185,26; para un tiempo de aireación de 2 horas y entre 162,71 y 187,55 para 3 horas. Esto puede ser debido al descenso del % de carbono y al incremento del % de nitrógeno a lo largo del proceso, aunque hay que resaltar que el contenido de nitrógeno es muy bajo, por lo que estas relaciones de C/N son elevadas.

Zaccheo y col. [23]; Inbar y col. [15], trabajando con materiales como paja de centeno y desechos de uva, reportan una relación C/N de 14,48 y 25,8, respectivamente. Los resultados obtenidos de la relación C/N para los tres flujos

de aire mostrados en la Tabla 2, indican que disminuyó respecto a la relación C/N inicial. La relación C/N referida en este estudio es mayor que los valores reportados por los autores antes mencionados.

Contaje de colonias de hongos y bacterias

En la caracterización del bagacillo de caña de azúcar al inicio (Tabla 1), se muestra la población de microorganismos presentes, la cual es inóculo suficiente para llevar a cabo el proceso de biodegradación [9]. El contenido de hongos y bacterias al final del proceso (Tabla 2) para los diferentes flujos de aire y tiempos de aireación, indican que los microorganismos presentaron condiciones favorables para su desarrollo.

En la Figura 3 se puede observar la variación de la temperatura con el tiempo, para los diferentes bioprocesos aeróbicos implementados. La temperatura inicial fue de 28°C, llegando a alcanzar valores de 53,44; 54,33 y 48,44°C, y de 43; 44 y 42°C a 2 y 3 horas en los diferentes flujos de aire (40, 50 y 60 L/min), respectivamente, al término del bioproceso en 14 días. Las elevadas temperaturas alcanzadas indican que el proceso fue eficiente asegurando que este material esté libre de microorganismos patógenos. Además, la aireación proporcionó niveles adecuados de oxígeno para el rápido crecimiento de los microorganismos.

La temperatura es uno de los parámetros más importantes en el proceso de biodegradación, debido a que está directamente relacionado con la actividad bioquímica en la biodegradación del desecho tratado, puesto que el calor

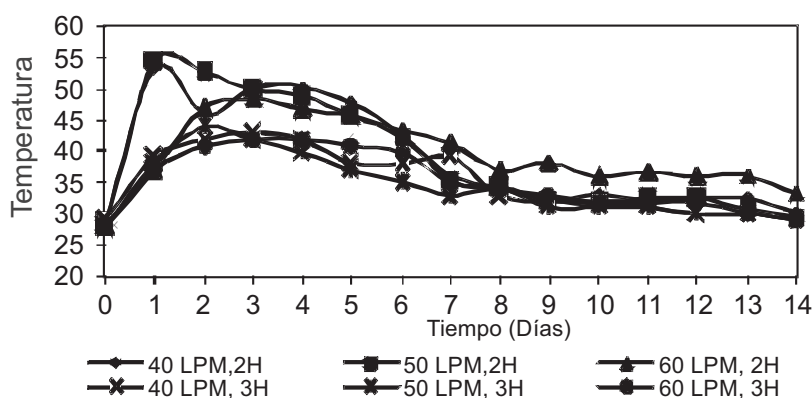


Figura 3. Variación de la temperatura para los diferentes flujos de aire (40; 50 y 60 LPM) a 2 y 3 hora.

Tabla 3. Comparación de las parejas de medias para la relación C/N en el abono orgánico.

Tiempo de aireación	Diferencia relación C/N LS Media	Error Estandar	HO: LS Media=0 Pr T	HO: LS Media 1= Media 2 Pr T
1	51.1966667	1.0471940	0.001	0.0016
2	59.2883333	1.0471940	<0.001	

Fuente: elaboración propia.

de reacción involucrado en los procesos de anabolismo y catabolismo celular trae como consecuencia un aumento en la temperatura del desecho biodegradado [10].

Bioproceso anaeróbico

En el bioproceso anaeróbico, la Tabla 2 muestra un incremento en el contenido de nitrógeno de 45%, y en el pH de 19%, lo cual indica que este proceso es menos eficiente, debido a que el tiempo para que ocurra la biodegradación es mucho mayor (45 días) que cuando se trata el desecho con aireación forzada (14 días). La aireación es esencial para el metabolismo y respiración de los microorganismos aeróbicos y para la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en el desecho.

Análisis estadístico

El análisis de varianza aplicado a los resultados demuestra que los diferentes tratamientos empleados para obtener el abono orgánico, no ejercen un efecto significativo ($P < 0.01$) para los porcentajes de nitrógeno. Mientras que, para los porcentajes de carbono se observó un efecto significativo ($P < 0.01$). A partir de estos resultados, puede inferirse que al momento de seleccionar el tiempo de aireación, es viable el de dos horas, debido a que implica menor tiempo de funcionamiento del compresor y por consiguiente, menor consumo de energía.

El análisis de varianza aplicado a los resultados de la relación C/N, dio como resultado que el tiempo de aireación tuvo un efecto significativo sobre la relación C/N, sin embargo no fue significativo el efecto del flujo de aire sobre esta relación. Además, puede concluirse que la interacción entre los tiempos de aireación y los flujos de aire, no tuvieron un efecto significativo sobre la relación C/N.

La Tabla 3 presenta los resultados de las pruebas de medias para la relación C/N, donde muestra que las medias son diferentes, determinando que para el tiempo de aireación, hubo diferencias significativas en la relación C/N, siendo el menor tiempo 2 horas de aireación. Mientras que, para los flujos de aire se determinó que el flujo de 50 L/min, tuvo un efecto significativo, teniendo como resultado que estos son los parámetros más adecuados para llevar a cabo un proceso de compostaje.

Conclusiones

- Para los diferentes flujos de aire y tiempos de aireación, se alcanzaron valores de pH y temperatura adecuados, para el desarrollo de los microorganismos aerobios encargados de la biodegradación del sustrato.

- El contenido de humedad se mantuvo en un rango entre 50 y 70%, los cuales son valores adecuados para llevar a cabo la biodegradación.
- El contenido de hongos y bacterias al final del proceso, indican que los microorganismos presentaron condiciones favorables para su crecimiento.
- Los tiempos de aireación y los flujos de aire no afectaron el contenido de nitrógeno ni de carbono en el abono orgánico obtenido. El tiempo de aireación empleado afectó la relación C/N en el abono orgánico, no así el flujo de aire.
- La disminución de la relación C/N, indica que se realizó una biodegradación eficiente; aun cuando los niveles de nitrógeno obtenidos en el proceso fueron bajos.
- El abono orgánico obtenido presentó un pH entre 7,04 y 7,85, los cuales son valores óptimos para mejorar la calidad de los suelos.
- Las características físicas y organolépticas del abono orgánico obtenido evidencian la eficiencia del proceso.
- El bioproceso anaeróbico resultó menos eficiente que cuando se trata el desecho con aireación forzada.
- Las condiciones de 50 L/min y 2 horas de aireación, garantizan la obtención de un buen abono orgánico con un menor consumo de energía.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- [1] A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 1990. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- [2] ELIAS, A.; LEZCANO, O. (1992). Efecto de la temperatura y la urea en la fermentación de la caña de azúcar para producir sacararina. **Rev. Cubana Científica Agrícola**. 26: 291 - 294.
- [3] ELLENRIEDER, G.; CASTILLO, J. (1983). Evaluación de pre-tratamientos que favorecen la hidrólisis enzimática del bagazo de caña de azúcar. **Rev. Latinoamer. Ing. Quím. Appl.** 13.
- [4] FAURE, D.; DESCHAMPS, A. (1990). Physicochemical and Microbiological aspects in composting of grape pulps. **Biological wastes**. 34 (3) 251 - 258.
- [5] FERRER, J.R.; DAVALILLO, Y.; CHANDLER, C.; PAEZ, G.; MARMOL, Z.; RAMONES, E. (2004). Producción de proteína microbiana a partir de los desechos del procesamiento de la caña de azúcar (bagacillo). **Arch. Latinoam. Prod. Anim.** 12(2):59-65.
- [6] FERRER, J. R.; PAEZ, G.; ARENAS, L.; CHANDLER, C.; MARMOL, Z.; SANDOVAL, L. (2002). Cinética de la hidrólisis ácida de bagacillo de caña de Azúcar. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)** .19: 23-33.
- [7] FERRER, J.R.; PAEZ, G.; MARMOL, Z. ;RAMONES, E.; CHANDLER, C.; MARIN, M.; FERRER, A. (2001). Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes. **Biores. Technol.** 76: 39-44.
- [8] FERRER, J.R.; PAEZ, G.; MARTINEZ, E.; CHANDLER, C.; CHIRINOS, M.; MARMOL, Z. (1997). Efecto del abono de uva sobre la producción de materia seca en el cultivo de Maíz (*Zea mays*). **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**. 14: 55-65.
- [9] FERRER, J.R.; PAEZ, G.; CHIRINOS, M. (1994). Bioproceso aeróbico de la pulpa de café. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia**. (17) 2: 67 - 74.
- [10] FERRER, J.R.; MUJICA, D.;PAEZ, G. (1993). Producción de un compostaje a partir de desechos de uva. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia**. (16) 3: 191-198.
- [11] FOX, D.; GRAY, P.; DUNN, N.; MARSDEN, W. (1987). Factors affecting the enzymic susceptibility of alkali and acid pretreated sugar cane bagasses. **Rev. J. Chem. Tech. Biotechnol.**, 40:117-132.
- [12] GUERRERO, J. (1993). **Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico de suelos**. Lima, p.p. 189.
- [13] HARTZ, T.; COSTA, F.; SCHRADER, W. (1996). Suitability of composted green waste for horticultural uses. **Hort Science**. 31 (6): 961 - 964.
- [14] HERRIMAN, M. (1990). Problemática internacional de la industrialización del bagazo. **Revista del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de azúcar**. 24 (1-3).
- [15] INBAR, Y.; CHEN, Y.; HADAR, Y. (1991). Carbon - 13 VPMAS NMR and FTIR spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of solids wastes from wineries. **Soil Science**. (152) 4: 272 - 281.
- [16] LAWSON, M.; KELLING, A. (1998). Poultry carcasses compost for application in the UK. **British Poultry Science**. 39: 510-511.
- [17] NOGUEIRA, M.; PINHEIRO, N.; VIDIGAL S.; TEIXEIRA, A. (2000). Nutrientes em compostos orgánicos de residuos vegetais e dejetos de suínos. **Science Agrícola**. (57):185 - 189.
- [18] SANCHEZ, J.; FERRER, J.R. (1990). Obtención de compost para utilizar en la agricultura y de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos. **VI Congreso Venezolano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Maracaibo, Venezuela.

- [19] S.A.S. (1985). Statistical Analysis System, **User's Guide: Statistics**, 5th ed. Edited by SAS Institute Inc., Cary, North Caroline, USA,
- [20] STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, (1985). 16th. Edition. **American Public Health, ASS**, New York.
- [21] SUAREZ, R.; MORIN, R. (2005). Caña de azúcar y sostenibilidad: Enfoques y experiencias cubanas. **Desarrollo Alternativo A.C. DESAL**. 19:41:26
- [22] VALLINI, G.; BIANCHIN, A.; DE BERTOLDI, M. (1983). Composting agro-industrial byproducts. **Byocycle**. 24: 43-47.
- [23] ZACCHEO, P.; CRIPPA, L.; GENEVINI, P. (1993). Nitrogen transformation in soil treated with N Labelled or composted ryegrass. **Plant and Soil**. (42) 2: 193 - 201.
-