Presented at Oral Session B1.1-Biological Processes
IWA-Mexico 2013 Young Water Professionals, 24-26 April 2013
San Luis Potosí, Mexico

Vermicomposteo acelerado con *Bjerkandera adusta* para la obtención de un abono orgánico estable y maduro a partir de bagazo de agave

R.G. Moran-Salazar*, A. López-López*, G. Davila-Vazquez*, S.M. Contreras-Ramos**

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, CP 44270. Guadalajara, Jalisco, México.
**E-mail: *smcontreras@ciatej.net.mx*

Resumen La producción de fructanos y tequila genera grandes cantidades de bagazo de agave residual el cual se utiliza principalmente en la producción de compostas, donde el tiempo del proceso es muy largo (4 a 7 meses). El objetivo de este trabajo fue utilizar el bagazo de agave con un pre-tratamiento de *Bjerkandera adusta* por 45 días para acelerar la degradación, seguido de un vermicomposteo con *Eisenia fetida* durante 45 días más, para obtener un abono orgánico. Se utilizó bagazo fraccionado (F) (< 4 mm) y entero (6-8 cm) (E) tratado con hongos nativos y con *B. adusta*. Se evaluó el contenido de carbohidratos totales, actividades enzimáticas de lingninoperoxidas (LnP), manganeso peroxidasa (MnP) y Lacasa (Lac); y la degradación de hemicelulosa, celulosa, lignina, así como parámetros de madurez y estabilidad al final del vemicomposteo. Se encontraron actividades de MnP y Lac desde los 30 días más no de LnP. La degradación fue mayor en el vermicomposteo con bagazo fraccionado y pre-tratado con *B. adusta* en conjunto con los hongos nativos (hemicelulosa 93%, celulosa 93% y lignina 76%). El abono orgánico fue estable y maduro en 90 días. Se logró reducir el tiempo de degradación del bagazo de agave a 3 meses.
Palabras clave: *Eisenia fetida*; residuos de tequila; vermicomposta

INTRODUCCIÓN

La producción de fructanos y de tequila genera grandes cantidades de bagazo de agave como residuo. Tan sólo en el 2012 se estima una generación de 352.24 miles de toneladas de bagazo después de la producción de tequila (CRT 2012). Aún cuando el uso del cultivo de agave es principal para la producción de tequila, actualmente se está utilizando para la producción de fructanos, como una opción viable para diversificar el uso industrial de esta especie vegetal. La alta generación del bagazo de agave ocasiona problemas económicos y ambientales para su disposición final, teniendo grandes cantidades de bagazo sin tratamiento final. El bagazo residual del tequila se utiliza para la producción de abonos orgánicos como las compostas (Iñiguez *et al*. 2011), sin embargo el tiempo del proceso es muy largo con un promedio de 4 a 7 meses. El objetivo de este trabajo fue utilizar el bagazo de agave bagazo entero y fraccionado con un pre-tratamiento de *Bjerkandera adusta* por 45 días para acelerar la degradación, y después tratar en un vermicomposteo con *Eisenia fetida* durante 45 días más, para obtener un abono orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron muestras de bagazo fraccionado (< 4 mm) y entero (6-8 cm) de un agave proveniente del estado de Zacatecas y derivado de la producción de fructanos. El bagazo se pre-trato en una fermentación en estado sólido con el hongo *B. adusta* y/o con hongos nativos, durante 45 días en diferentes tratamientos (Tabla 1). Se evaluó la degradación de hemicelulosa, celulosa, lignina (Van Soest & Wine 1967) y carbohidratos totales (Dubois *et al*. 1956) a los 0, 30 y 45 días.

Además, se evaluó la actividad enzimática de LnP, MnP y Lac (Leonowicz & Grzywnowicz 1981). Después del pre-tratamiento se realizó un proceso de vermicomposteo con *E. fetida* complementando el aporte de nitrógeno con un biosólido obtenido de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, el cual estuvo libre de patógenos y con un contenido de metales pesados por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-004-SEMARNAT-2000 y de la USEPA, con 146 mg kg^{-1} de N inorgánico y 1525 mg kg^{-1} de fósforo disponible. A los días 0, 30 y 45 se evaluó el contenido de hemicelulosa, celulosa, lignina.

Tabla 1. Tratamientos con *B. adusta* y hongos nativos en el proceso de vermicomposteo con *E. fetida*.

Bagazo	Pre-tratamiento		Vermicomposteo	
	ESTERIL (e)	NO ESTERIL (Ne)	Con Lombriz	Sin Lombriz
Fraccionado (F)	Sin hongos (C) Con *B. adusta* (B)	Nativos (C) Nativos y *B. adusta* (B)	+L	-L
Eentero (E)	Sin hongo (C) Con *B. adusta* (B)	Nativos (C) Nativos y *B. adusta* (B)	+L	-L

Al abono orgánico final se le determinó nitrógeno inorgánico (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+), índice de germinación, índice de respiración, ácidos húmicos y fúlvicos. Todos los parámetros evaluados fueron sujetos a un análisis de varianza (ANOVA) usando un PROC GLM con el programa estadístico SAS (2009) para analizar las diferencias significativas entre los tratamientos en el pre-tratamiento con *B. adusta* y en el proceso de vermicomposteo con la prueba de Tukey con un $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los hongos nativos del bagazo y *B. adusta* consumieron los azúcares residuales (carbohidratos totales) del bagazo en 30 días, sin diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 1).

El bagazo fraccionado favoreció la degradación de lignina por los hongos nativos, por la mezcla de éstos con *B. adusta* y *B. adusta* sólo (CFNe, BFNe y BFe), donde la degradación de lignina fue BFe > CFNe > BFNe sin diferencias significativas entre ellos ($P > 0.05$) (Tabla 2). Similares degradaciones han sido encontradas por otros autores utilizando bagazo de caña con hongos como *Lenzites betulina*, *Daedalea elegans*, *Polyporus giganteus* sobre bagazo de caña con una degradación de lignina del 47%, 59% y 65% respectivamente en 90 días (Oluseyi & Isola 2009). Los tratamientos de los hongos nativos y *B. adusta* presentaron actividades de MnP y Lac a los 30 días. El tratamiento de bagazo entero con hongos nativos más *B. adusta* (BENe) presentó actividades de MnP (7.65×10-6 U g^{-1}) y Lac (44×10-6 U g^{-1}) al día 30, mientras que en bagazo fraccionado (BFNe) sólo mostró actividad de MnP de 155.5×10-6 U g^{-1}. Donde se evaluó *B. adusta* en bagazo entero (BEe) en el día 30 sólo se tuvo actividad de Lac (34.5×10-6 U g^{-1}) y para el día 45 presentó ambas MnP (12.4×10-6 U g^{-1}) y Lac (84.5×10-6 U g^{-1}). El mismo tratamiento con bagazo fraccionado (BFe) sólo presentó actividad de MnP (812.15×10-6 U g^{-1}) en el día 30 degradando el 72%, y para el día 45 presentó las dos actividades de MnP (77.52×10-6 U g^{-1}) y Lac (60.5×10-6 U g^{-1}) con una degradación de 74% de lignina.

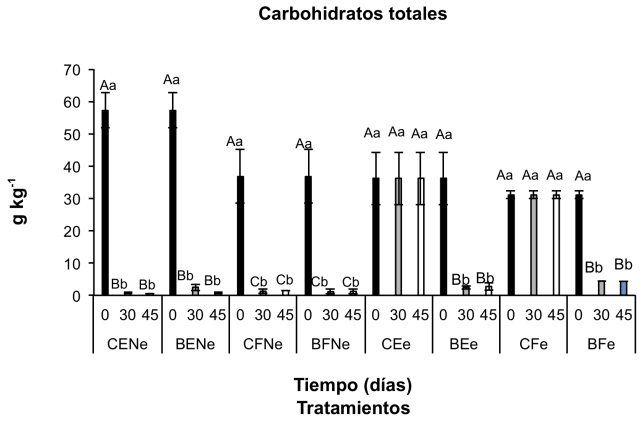

Figura 1. Concentración de carbohidratos totales durante el pre-tratamiento con hongos nativos (C) o con *B. adusta* (B) en bagazo entero (E) o fraccionado (F) y en condiciones estériles (e) o no estériles (Ne). Las letras minúsculas indican las diferencias entre los días de proceso para el mismo tratamiento. Letras mayúsculas indican las diferencias entre tratamientos para el mismo día.

Tabla 2. Porcentajes de degradación de hemicelulosa (Hem), Celulosa (Cel) y Lignina (Lig) en el pre-tratamiento con *B. adusta*, en el vermicomposteo y el total.

Tratamiento	Porcentajes de degradación (%)								
	Pre-tratamiento			Vermicomposteo			Total		
	Hem	Cel	Lig	Hem	Cel	Lig	Hem	Cel	Lig
CENe	64	51	56	15	36	0	79	88	56
CFNe	67	43	74	27	43	16	94	86	91
CEe	0	0	0	21	29	15	21	29	15
CFe	0	0	0	0	29	24	0	29	24
BENe	51	58	61	43	34	12	93	92	73
BFNe	71	43	71	22	50	5	93	93	76
BEe	54	32	62	39	59	12	94	92	74
BFe	65	49	72	0	0	0	65	49	72
CENe*	40	0	33	12	24	14	52	24	47
CFNe*	41	0	29	5	26	24	46	26	54
BEe*	54	32	62	17	12	4	71	45	66
BFe*	65	49	72	3	0	1	68	49	73

*Tratamientos sin lombriz (-L)

Esto demostró que la presencia de *B. adusta* favoreció la producción de estas enzimas las cuales lograron la ruptura de la lignina como pre-tratamiento biológico para degradar el bagazo de agave y así el hongo pudo acceder a las fibras de hemicelulosa y celulosa. Además, se observó que la actividad enzimática y la degradación de lignina fueron mayores en el bagazo fraccionado. García-Torres & Torres-Sáe (2003), encontraron en bagazo de caña (tamaño de partícula de 0.08 cm) con los hongos de la pudrición blanca *Trametes versicolor* y *Pleurotus floridae* una concentración de Lac de 0.11 U g^{-1} y 0.05 U g^{-1}; MnP en una concentración de 0.03 U g^{-1} 0.05 U g^{-1} y 0.01 U g^{-1} respectivamente, en un tiempo de 21 días. La degradación fue mayor en el vermicomposteo con bagazo fraccionado y pre-tratado con *B. adusta* + hongos nativos (BFNe) (hemicelulosa 93%, celulosa 93% y lignina 76%) comparado con los hongos nativos (CFNe) (hemicelulosa 94%, celulosa 86% y lignina 91%).

Los tratamientos con bagazo entero (CENe, CEe, BENe, BEe) tuvieron menor degradación total que los de bagazo fraccionado (CFNe, CFe, BFNe, BFe) (Tabla 2). Esto sugirió que el tamaño de partícula pequeño ayudo a la colonización del hongo y favoreció la degradación del bagazo en un vermicomposteo acelerado con un pre-tratamiento con el hongo de la pudrición blanca *B. adusta*. El abono orgánico del tratamiento de *B. adusta*+hongos nativos en bagazo entero y fraccionado (BENe, BFNe) tuvieron características de madurez y estabilidad muy cercanas o dentro de los índices reportados por otros autores como son los litados en la tabla 3. Todos los tratamientos tuvieron valores >100 en el índice de germinación lo cual indicó que no fueron fitotóxicas.

Tabla 3. Parámetros e índices de madurez y estabilidad de los abonos orgánicos obtenidos.

Tratamiento	$N\text{-}NH_4^+$ (mg Kg^{-1})	$N\text{-}NO_3^-$ (mg Kg^{-1})	$N\text{-}NO_2^-$ (mg Kg^{-1})	NH_4^+/NO_3^-	AH/AF	CO2 (mg Kg^{-1} h^{-1})
CENe+L	45 ± 49	1322 ± 68	16 ± 0	0.033 ± 0.05	1.24 ± 0.14	143.3 ± 14.1
BENe+L	200 ± 99	175 ± 42	8 ± 0	1.30 ± 0.90	1.37 ± 0.08	57.6 ± 8.9
CFNe+L	186 ± 00	772 ± 00	24 ± 0	0.241 ± 0.10	0.41 ± 0.00	15.6 ± 0.0
BFNe+L	40 ± 00	532 ± 00	8 ± 0	0.075 ± 0.04	1.07 ± 0.28	65.0 ± 0.0
CEe+L	30 ± 14	312 ± 66	10 ± 8	0.093 ± 0.05	0.53 ± 0.27	45.3 ± 17.6
BEe+L	40 ± 00	347 ± 21	15 ± 2	0.163 ± 0.10	0.88 ± 0.17	57.1 ± 6.2
CFe+L	50 ± 00	1936 ± 00	8 ± 0	0.026 ± 0.01	0.53 ± 0.00	15.2 ± 0.0
Índices de estabilidad	75-500[1]	> 40[1]	< 5[1]	0.5-3[1]	> 1.9[2]	≤ 120[3]

[1] (Wichuk & McCartney 2010); [2] (Raj & Antil 2011); [3] (Hue & Liu 1995)

CONCLUSIONES

Se logró reducir el tiempo de degradación del bagazo de agave de 7 meses a 3 meses con un vermicomposteo acelerado con *B. adusta* y se obtuvo un abono orgánico estable y maduro.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el fondo Sectorial SAGARPA con clave 2009-109799.

REFERENCIAS

CRT 2012. Estadísticas de Economía. Consejo Regulador del Tequila (CRT). Fecha de consulta Enero, 2013.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28, 350-356.

García-Torres, A.M. & Torres-Sáe, R.G. 2003. Producción de enzimas lignolíticas por *Basidiomycetes* mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido. Rev. Colomb. de Biotecn. 5, 55-64.

Hue, N.V. & Liu, J. 1995. Predicting compost stability. Compost Sci. & Util. 3, 8-15.

Iñiguez, G., Martínez, G.A., Flores, P.A. & Virgen, G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoteo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un substrato para jitomate. Rev. Int. Cont. Ambiental. 27, 47-59.

Leonowicz, A. & Grzywnowicz, K. 1981. Quantitative estimation of laccase forms in some white-rot fungi using syringaldazine as a substrate. Enzyme Microb. Tech. 3, 55-58.

Oluseyi, D.A. & Isola, O.F. 2009. Bidegradation of agro-wastes by some nigerian white-rot fungi. BioResources 4, 816-824.

Raj, D. & Antil, R.S. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. Bioresource Technol. 102, 2868-2873.

Van Soest, P.J. & Wine, R.H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal Assoc. Official Anal. Chem. 50, 50-54.

Wichuk, K.M. & McCartney, D. 2010. Compost stability and maturity evaluation a literature review. Can. J. Civil Engin. 37, 1505-1523.