

Evaluación de la Reconversión de Bagazo de Agave mediante la Biotecnología de Compostaje y Lombricompostaje

L. Rodríguez Andalón^{#1}, C. González López^{#2}, J. Gómez Barbosa^{#3}, C. Camacho Amador^{#4},
G. Zuñiga Martinez^{#5}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez,
Unidad Académica Cocula, Jalisco, México.

¹laura.rodriguez@cocula.tecmm.edu.mx, ²claudia.gonzalez@cocula.tecmm.edu.mx,

³judith.gomez@cocula.tecmm.edu.mx, ⁴cesar.camacho@cocula.tecmm.edu.mx,

⁵co190117450@cocula.tecmm.edu.mx

Resumen— Se evaluó la viabilidad de la biotecnología de compostaje y lombricompostaje para la reconversión del bagazo de agave en compost. Se establecieron diversos tratamientos de lombricomposta y compostaje por apilamiento, mezclados con estiércol de cabra, vaca y restos vegetales. Se mantuvo una humedad por arriba de 50% y se controló la ventilación mediante volteos. Se monitoreó la temperatura, humedad y pH a durante doce semanas. Se obtuvo compost estable con pH de 7 y una humedad de 40%. Se concluye que el bagazo de agave mezclado con otros restos vegetales hace más rápida su descomposición mediante el compostaje y lombricompostaje.

Palabras clave — Bagazo de agave, compostaje, lombricompostaje.

I. INTRODUCCIÓN

Lazcano y Serra mencionan, en su libro “El mezcal es una bebida prehispánica”, que la elaboración de esta bebida producto de la destilación del agave, inició en la zona Xochitécatl-Cacaxtla, Tlaxcala, entre los años 600 y 400 antes de Cristo (a.C.) [1]. El tequila es un producto étnico y de la nostalgia, este permite ser consumido principalmente por migrantes que buscan minimizar la melancolía de estar lejos de [2].

En 2021 se exportaron 288 millones de litros de tequila a Estados Unidos, seguido de Alemania con 6446 miles de litros. También se exporta a España, Francia, Reino Unido, Colombia, Australia, entre otros países [3]. La producción de tequila en enero de 2022 fue de 41.5 millones de litros. Para cubrir esta demanda se consumieron 190,300 toneladas de la planta de agave [4]. La superficie sembrada de la planta es de 5360 ha [5].

El bagazo de agave es el material fibroso que queda en la etapa de extracción. Una vez que las “piñas” de agave son cocidas, son sometidas a un desgarre y molidas para extraer con agua los azúcares fermentables para la producción de Tequila. El bagazo son la corteza y fibras vasculares del tallo del agave. Las fibras son de pared gruesa y larga de 12 cm; la médula son los filamentos más finos. El bagazo representa 40% del peso total de la cabeza de agave molida en base húmeda [6].

Este material es factible de compostar. El compostaje es un proceso de biotransformación de materiales orgánicos a partir de la digestión de microorganismos en condiciones controladas. Al final queda un producto llamado compost, es un material parecido al humus [7]. La lombricomposta es la biotecnología de biotransformación de los desechos orgánicos mediante la acción de las lombrices, se utiliza la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* [8]. El objetivo de este estudio fue evaluar la reconversión de bagazo de agave mediante la biotecnología de compostaje y lombricompostas. Se probaron mezclas del bagazo con mezclas de residuos vegetales y estiércoles. También se adaptó la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para el proceso de lombricompostaje.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Unidad Académica Cocula (ITSJC). Ubicada en el municipio de Cocula, en el estado de Jalisco en México; en las coordenadas: 20.372751 latitud norte y 103.807073 longitud oeste, a 1350 metros sobre el nivel del mar.

Se utilizó bagazo residual de agave azul (*Agave tequilana*; F.A.C. Weber, 1902) proveniente del municipio de Villa Corona, Jalisco. Los estiércoles de cabra y vaca se obtuvieron de granjas del municipio de Cocula, Jalisco. Los restos vegetales son los producidos en las áreas verdes y cocina del TSJC.

Se formaron cuatro pilas mezclando bagazo, estiércol y residuos vegetales frescos, de aproximadamente 3 metros cúbicos cada uno, siguiendo el método de pilas con volteos [9] El proceso de compostaje se realizó en un espacio protegido con maya sombra; se cubrió el suelo con plástico para evitar infiltraciones; se regó cada cuatro días; la aireación fue mediante 2 volteos por semana durante doce semanas, las pilas fueron cubiertas con plástico para acelerar su maduración. En el proceso de lombricompostaje se tomaron compostas con 21 días de proceso y se les añadieron las lombrices. Los tratamientos utilizados se especifican en la

Tabla I. Se monitoreó la temperatura, humedad y pH a lo largo de doce semanas. Los materiales se reunieron en la última semana de septiembre de 2022 (semana 1), y durante doce semanas se realizó el monitoreo (semana 12 en la tercera semana de diciembre de 2022).

TABLA I
TRATAMIENTOS DE COMPOSTAS Y LOMBRICOMPOSTAS

Compostaje	
T1	Bagazo, estiércol de chivo y restos vegetales de jardinería (relación 1:1:2).
T2	Bagazo, estiércol de vaca y restos vegetales de jardinería (relación 1:1:2)
T3	Bagazo, restos de residuos de cocina y residuos de jardinería. (relación 1:1:2).
T4	Bagazo (relación 1).
Lombricomposta	
T5	Precompostaje de bagazo y estiércol de vaca y chivo; así como restos de jardinería (relación 1:1:2).

Se realizó un análisis de las características del compost y humus realizados en el Centro Regional de Servicios Integrales para Agricultura Protegida. Finalmente, se determinó la calidad y tipo de la composta de acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018 [10]m de acuerdo a los parámetros de la Tabla II.

TABLA II
ESPECIFICACIONES POR TIPO DE COMPOSTA EN LA NORMAS

Parámetro	Especificaciones en Norma			
	Tipo de composta			Lombricomposta
	I	II	III	
Humedad (%)	25- 35	25- 35	35-45	20-40
pH	6.7- 8.5	6.7- 8.5	6.7- 8.5	5.5-8.55
Conductividad eléctrica (dS/m)	$0.5 \leq 4$	$4 \leq 8$	$8 \leq 12$	≤ 4
Materia orgánica(%)	≥ 50	30-50	20-30	20-50
Carbono orgánico (%)	mínimo 10 %	mínimo 10 %	mínimo 10 %	--
Relación C/N (%)	15- <20	$20 \leq 25$	$20 \leq 25$	≤ 20
Nitrógeno Total %	3	2	1	1 a 4
Fósforo Total %	1-3% Cada uno. Si su suma 7%: debe portar la leyenda "Composta –mejorador de suelo orgánico". Si cualquiera excede 3 % o la suma es mayor a 7% debe portar la leyenda "Fertilizante orgánico" y se debe indicar las cantidades para cada macronutriente.			--
Potasio Total %				--
*Cobre total mg/kg	70	150	300	--
*Zinc Total mg/kg	200	500	500	--
Temperatura	20-35	20-35	36-50	--

* Elementos traza máximos permitidos

III. RESULTADOS

A). Parámetros de control del proceso

En las primeras cuatro semanas la temperatura registrada en las pilas de compostaje aumentó de 25 °C hasta por arriba de los 55 °C en los tratamientos 1, 2 y 3. Debido al aumento de la degradación de los compuestos por la actividad microbiana, los tres tratamientos presentaron temperaturas alrededor de los 60 °C de las semanas 1 a 4, cumpliendo con lo referido en la NMX NMX-AA-180-SCFI-2018

El tratamiento 4 (Testigo) alcanzó una temperatura por arriba de los 40°C, lo que indica inicio del proceso de degradación. En las semanas 5 a la 8 los tratamientos 1, 3 y 4 disminuyeron hasta los 40°C. Con respecto al tratamiento 4 se mantuvo por arriba, mientras que la pila del tratamiento 3 se mantuvo por arriba de los 50°C. En la semana 12 la temperatura disminuyó hasta oscilar alrededor de los 30 °C.

Respecto a la humedad durante el compostaje, las primeras tres semanas la humedad de las pilas en los cuatro tratamientos se mantuvo cerca del 65% como lo recomienda la norma. En la semana 4 hubo un decremento hasta llegar alrededor del 30%. Durante las semanas 6 y 7 los tratamientos 1 y 2 incrementaron el porcentaje de humedad por arriba de 40%. De las semanas 8 a la 12 los tratamientos 1,2 y 3 oscilaron entre los 35 a 40% de humedad. Respecto al Tratamiento 4 (testigo) de las semanas 4 a la 12 se mantuvo por debajo del 20% de humedad. Este comportamiento indica que el bagazo no retiene la humedad. (Ver figura 2.)

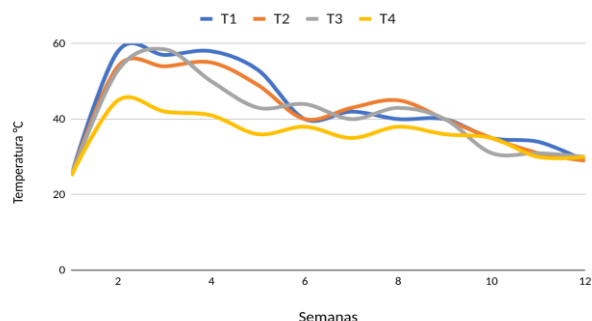


Fig. 1. Registros de la temperatura en las compostas.



Fig. 2. Registro de humedad en el proceso de compostaje.

El pH en los cuatro tratamientos de compostas osciló entre 7 y 8.8, este indicador está dentro de lo establecido por la NMX NMX-AA-180-SCFI-2018 (4 a 9 unidades de pH.). Ver figura 3.

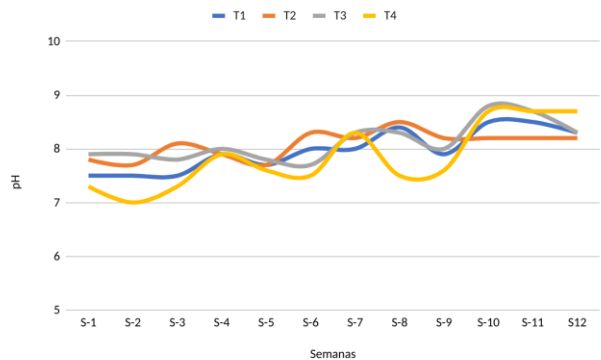


Fig. 3. Registro de pH durante el proceso de compostaje

El tratamiento 5 de lombricomposta de las semanas 1 a la 8 se realizó el precomposteo y se adaptó a la lombriz. En la semana 9 se registró pH de 7.8 y en la semana 12 un pH de 8.7, cumpliendo con la NMX-AA-180-SCFI-2018 (5 a 9).

B. Calidad y tipo de la composta de acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018.

En la Tabla III se presentan algunas de las características de los tratamientos 1, 2, y 3 de las compostas, así como su determinación de calidad de acuerdo a los requerimientos establecidos en la Norma antes mencionada (Tabla II).

TABLA III

DETERMINACIÓN DE TIPO DE COMPOSTAS DE ACUERDO A LA NORMA

Parámetro	Determinación de tipo de compostas					
	T1	Tipo	T2	Tipo	T3	Tipo
Húmedad (%)	37,69	III	35,15	III	40,65	III
pH	8,78	☹️	8,65	☹️	9,2	☹️
Conductividad eléctrica (dS/m)	3,42	II	3,34	I	3,09	I
Materia orgánica(%)	34,27	III	39,92	II	35,89	III
Carbono orgánico (%)	19,88	I,II,III	23,16	I,II,III	20,82	I,II,III
Relación C/N (%)	16,43	I	17,38	I	18,04	I
Nitrógeno Total %	1,21	**C-MSO	1,33	**C-MSO	1,15	**C-MSO
Fósforo Total %	0,98		0,89		0,63	
Potasio Total %	2,98		2,54		1,74	
*Cobre total mg/kg	27	😊	32	😊	22	😊
*Zinc Total mg/kg	41	😊	48	😊	37	😊
Temperatura	29	I	33	I	29	I

* Elementos traza máximos permitidos

**C-MOS: Composta –mejorador de suelo orgánico

El T1 corresponde a la composta de bagazo de agave, estiércol de chivo y restos vegetales de jardinería (relación 1:1:2). Como lo indican los valores de humedad, materia orgánica, carbono orgánico corresponden a la composta Tipo III. De acuerdo a su composición de Macronutrientes se le añade la leyenda “Composta-mejorador de suelo orgánico.

El T2 se conformó por Bagazo, estiércol de vaca y restos vegetales de jardinería (relación 1:1:2). Como lo indican la conductividad, carbono orgánico, relación C:N y temperatura se puede clasificar mayormente como composta tipo I. De acuerdo a su composición de Macronutrientes se le añade la leyenda “Composta-mejorador de suelo orgánico”.

El T3 se conformó Bagazo, restos de residuos de cocina y residuos de jardinería. (relación 1:1:2). De acuerdo a las condiciones de humedad, materia orgánica y carbono orgánico C se puede clasificar mayormente como composta tipo III. Conductividad eléctrica, relación C:N, y temperatura se puede clasificar como composta Tipo I. De acuerdo a su composición de Macronutrientes se le añade la leyenda “Composta-mejorador de suelo orgánico”.

Los tres tratamientos de composta presentan un pH alcalino fuera de lo establecido en la Norma (T1 con pH 8.78; T2 con pH de 8.65 y T3 con pH de 9.2, respectivamente). El compost obtenido se puede utilizar en jardinería y plantas que se desarrollan en suelos alcalinos, como cactus, suculentas, lavanda y romeros.

El tratamiento 4 corresponde a bagazo de agave con riego y volteos, no alcanzó la etapa de maduración, por tal motivo no se incluyó en los análisis de laboratorio.

Respecto al Tratamiento 5 corresponde al precompostaje de bagazo y estiércol de vaca y cabra; así como restos de jardinería (relación 1:1:2). correspondiente a la lombricomposta se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 4. También se incluyen las especificaciones de calidad de la lombricomposta establecidas en la Norma. Se obtuvo que la lombricomposta cumple con todos. Cabe mencionar que el pH, al igual que las compostas, salió ligeramente alcalino, por lo tanto se recomienda su uso en suelos alcalinos.

TABLA IV

CUMPLIMIENTO DE LOMBRICOMPOSTAS DE ACUERDO A LA NORMA

Parámetro	Especificación Norma	Tratamiento	Cumple
		T5	
Húmedad (%)	20-40	26,67	✓
pH	5.5-8.55	8,06	✓
Conductividad eléctrica (dS/m)	≤ 4 a 1	2,98	✓
Materia orgánica(%)	20-50	24,3	✓
Relación C/N (%)	≤ 20	14,4	✓
Nitrógeno Total %	1 a 4	0,98	✓

IV. CONCLUSIONES

La evaluación realizada permitió constatar que la biotecnología del compostaje y lombricompostaje son viables para la reconversión del bagazo de agave. Este documento puede ser una herramienta útil a la industria del tequila creciente en la Región Valles y Lagunas del Estado de Jalisco, México.

El método de compostaje aeróbico por apilamiento es fácil de manejar y permite acelerar la descomposición de las mezclas vegetales. Mezclar el bagazo con otros materiales como estiércol y residuos de vegetales y de cocina facilitan el proceso. En la lombricomposta, la lombriz roja californiana se adaptó con precompostas ya estables en la etapa mesófila (octava semana).

El compost obtenido en los tratamientos 1,2 y 3 se pueden clasificar mayormente como tipo III, de acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018. Una alternativa de uso del compost y humus de bagazo de agave, es utilizarlo en suelos degradados de cultivos de agave. Adicionalmente, como lo marca la norma- se puede utilizar en jardines, paisajismo y áreas verdes en una proporción de 20% de la mezcla utilizada de tierra negra. También se puede adicionar 1 cm/m² sobre una capa de suelo por año.

Se recomienda evaluar la eficiencia del compost y humus de bagazo de agave obtenido, en cultivos frutales y de ornato. Se recomienda antes de usar compostas de bagazo de agave conocer los requerimientos del suelo, y moderar su uso para evitar desequilibrar el pH del suelo y afectar la absorción de nutrientes por las plantas. Una alternativa en el uso de bagazo de agave es mezclarlo con tierra antes de su aplicación. Se recomienda mezclar la composta con suelos midiendo su pH.

Se requiere sensibilizar y capacitar a los estudiantes de ingeniería en innovación agrícola sustentable del ITSJC acerca del aprovechamiento de residuos agroindustriales mediante biotecnologías factibles y confiables. Además de promover una cultura de aprovechamiento racional y respetuosa de los recursos ambientales, económicos y de respeto a la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Jalisco Unidad Académica Cocula, por todas las facilidades y apoyos recibidos durante este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] C. Lazcano y M. Serra, El Mezcal una bebida prehispánica, Estudios Etnoarquelógicos, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México, pp. 264, 2022.
- [2] B. Olmedo Carranza, "El Tequila: de su origen a su desnaturalización. ¿A quién le pertenece su conocimiento? Una aproximación," *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba, vol. 41, pp. 1-13, 2010. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620500061.pdf>
- [3] Statista Research Department, México: cantidad exportada de tequila por país, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1058207/mexico-cantidad-exportada-tequila-pais-destino/>
- [4] P. Romo, El tequila aumentó la producción, exportación y consumo de agave, *El Economista*, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Tequila-aumento-produccion-exportacion-y-consumo-de-agave-20220221-0104.html>
- [5] SIAP, Avance de siembra y cosecha del agave, Sistema de información agroalimentaria y pesquera, 2022 [En línea]. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- [6] C. M. Cedeño, "Tequila production," *Crit. Rev. Biotechnol.* Vol. 15, pp. 1-11, 1995. DOI: <https://doi.org/10.3109/07388559509150529>
- [7] B. J. Fick, "How to bind a compost bin," *Agricultural Publication*, 1993.
- [8] L. Rodríguez, Compostaje de lodos residuales y desechos de jardinería como alternativa de solución al problema de contaminación en Chapala, Universidad de Guadalajara, 2001.
- [9] R. Rynk, On-farm composting handbook. Northeast. Regional Agricultural Engineering Service, publication 54, Ithaca NY, 1992. R. Rynk, M. Van de Kamp, G. B. Willson, M. E. Singley, T. L. Richard, J. J. Kolega, F. R. Gouin, L. Laliberty, D. Kay, D. Murphy, and H. A. Hoitink, On-farm composting handbook (NRAES 54), 1992.
- [10] COTEMARNAT. Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación 26 de septiembre de 2018.ciudad de México, México. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>