

---

# CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUSTRATOS AGRÍCOLAS A PARTIR DE BAGAZO DE AGAVE TEQUILERO

---

Ramón Rodríguez Macías, Ernesto G. Alcantar González, Gilberto Iñiguez Covarrubias, Francisco Zamora Natera, Pedro M. García López, Mario A. Ruiz López y Eduardo Salcedo Pérez

## RESUMEN

En el presente trabajo se caracterizó y evaluó el bagazo de agave tequilero para conocer su potencial como un sustrato alternativo equiparable a la turba comercial. El bagazo se mezcló con estiércol de ovino 4:1 (v/v) y la mezcla fue sometida a dos procesos de biotransformación: vermicomposteo durante 130 días, de donde se obtuvo vermicomposta (bv), y composteo convencional de donde se obtuvieron dos materiales distintos, una composta madura (bc) de 130 días (bc) y una composta inmadura (bp) con precomposteo de 60 días. También se utilizó el bagazo original únicamente lavado con agua (bf). Como sustratos testigos se utilizaron turbas comerciales importadas

de Canadá; Sunshine 3 (s-s) y VTM Sogemix (vtm). Los materiales fueron caracterizados en sus propiedades físicas de densidad aparente, densidad real, determinación de retención de humedad, y en las propiedades químicas de capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad eléctrica (CE), concentración de ácidos fenólicos y contenido nutrimental. Los resultados muestran que las propiedades, tanto físicas como químicas, de los sustratos bp, bv y bc son adecuadas y similares a las los materiales testigo (s-s) y (vtm), y que presentan un gran potencial como sustrato orgánico en agricultura.

---

## Introducción

El agave azul (*Agave tequilana* Weber) constituye la materia prima para la elaboración del tequila y durante los últimos años, la superficie dedicada a su cultivo ha sido de 168 000ha (CTR, 2008) distribuidas en cinco estados de México (Jalisco, Michoacán, Nayarit, Guanajuato y Tamaulipas). La obtención de un litro de tequila requiere en promedio 4-6kg de la materia prima conocida como "piñas de agave", a partir de la que se generan 3-4kg en base húmeda de un primer residuo denominado "bagazo de agave", un material de aspecto

fibroso con altos contenidos de humedad y azúcares.

Según el Consejo Regulador del Tequila (CRT, 2008) se procesaron ~1,125 10<sup>6</sup> ton de agave, produciendo ~312 10<sup>6</sup> litros de tequila y generando cerca de 78 10<sup>6</sup> ton de bagazo en peso húmedo. Debido a las grandes cantidades de bagazo de agave producidas y su alto contenido de humedad (80%), y dado que el residuo está compuesto principalmente de celulosa y lignina (Aviña, 1999), su transporte, aprovechamiento, su confinamiento o tratamiento se dificultan (Soffchi, 1999). Ello ha provocado tiraderos clandestinos o incorporaciones inadecuadas a

campos agrícolas, con los consiguientes riesgos de favorecer problemas fitosanitarios posteriores, promover alteraciones negativas a la fertilidad de los suelos y ocasionar contaminación ambiental por lixiviados. Adicionalmente, el contenido de azúcares remanentes es suficiente para la infestación por hongos y levaduras fermentadoras, lo que genera malos olores y productos indeseables, siendo también un excelente hospedero para plagas (insectos y roedores) y enfermedades de plantas (Rodríguez *et al.*, 2001). Aunque existen estudios y propuestas para ofrecer alternativas de uso, aun es necesario buscar nuevas

opciones de aprovechamiento masivo, ya que el cultivo de agave tequilero es cada vez mayor. Entre las alternativas que presentan mejores posibilidades de utilización se encuentra la biotransformación a partir de los procesos de compostaje y vermicompostaje del bagazo, con las ventajas de disminución del volumen y humedad facilitando su transporte, la obtención de materiales con características apropiadas para ser usados en enmiendas agrícolas como mejoradores de suelo y, sobre todo, como sustrato para la producción de plántulas y como base o medio de crecimiento para el cultivo en vivero e invernadero,

---

## Palabras clave / Agave / Bagazo / Residuos / Sustratos /

Recibido: 15/07/2009. Modificado: 17/05/2010. Aceptado: 24/05/2010.

**Ramón Rodríguez M.** Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guadalajara (UdeG), México. M. Sc., Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Dr. Sc. Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, UdeG, México. Dirección: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UdeG. Apartado Postal 39-82. C.P. 45110, Guadalajara, Jalisco. México. e-mail: ramonrod@cucba.udg.mx

**Ernesto G. Alcantar G.** Ingeniero Bioquímico, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México. M.Sc., COLPOS, México. Dr.Sc., Université de Paris, Francia. Profesor Investigador, COLPOS, Montecillo, México. e-mail: alcantar@colpos.colpos.mx

**Gilberto Iñiguez C.** Ingeniero Químico, UdeG, México. M.Sc., International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda. Dr.Sc. Universidad Na-

cional Autónoma de México (UNAM). Profesor Investigador, UdeG, México. e-mail: giniguez@dmcyp.cucei.udg.mx

**Francisco Zamora N.** Ingeniero Agrónomo, UdeG, México. M.Sc., Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Dr.Sc., COLPOS, México. Profesor Investigador, UdeG, México. e-mail: fzamora@cucba.udg.mx.

**Pedro M. García L.** Médico Veterinario y Zootecnista, UdeG, México. M.Sc., University of

Delaware, EEUU. Profesor Investigador, UdeG, México. e-mail: pgarcia@cucba.udg.mx.

**Mario A. Ruiz L.** Biólogo, UdeG, México. M.Sc., UdeG, México. D.Sc., UNAM, México. Profesor-Investigador, UdeG, México. e-mail: mruiz@cucba.udg.mx.

**Eduardo Salcedo P.** Ingeniero Agrónomo, UdeG, México. M.Sc., Universidad Autónoma de Chapingo, México. Dr.Sc., COLPOS, México. Profesor Investigador, UdeG, México. e-mail: esalcedoperez@yahoo.com

## PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SUBSTRATES OBTAINED FROM TEQUILA AGAVE BAGASSE

Ramón Rodríguez Macías, Ernesto G. Alcantar González, Gilberto Iñiguez Covarrubias, Francisco Zamora Natera, Pedro M. García López, Mario A. Ruiz López and Eduardo Salcedo Pérez

### SUMMARY

*Tequila agave bagasse was characterized and evaluated in order to know its potential as an alternate substrate comparable to commercial peat. A mixture of bagasse and lamb manure 4:1 v/v, was subjected to two biotransformation processes: vermicomposting for 130 days to obtain vermicompost (bv), and conventional composting in order to obtain two different materials: a mature compost (bc) of 130 days, and an immature pre-compost (bp) of 60 days. Water-washed bagasse (bf) was also utilized. Two commercial peats imported from Canada, Sunshine 3 (s-s) and VTM Sogemix (vtm), were employed as control. Physical*

*properties of the materials such as apparent density, real density, and humidity and retention were determined. Chemical properties of cationic exchange capacity, pH, electrical conductivity (CE), phenolic acids concentration, and nutritional contents were also determined. The results show that the physical and chemical properties of the bp, bv and bc substrates provide appropriate growing conditions, a similar way to the commercial peats s-s and vtm. It is concluded that bagasse agave offers a significant potential as a agricultural substrate.*

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS AGRÍCOLAS A PARTIR DE BAGAÇO DE AGAVE TEQUILEIRO

Ramón Rodríguez Macías, Ernesto G. Alcantar González, Gilberto Iñiguez Covarrubias, Francisco Zamora Natera, Pedro M. García López, Mario A. Ruiz López e Eduardo Salcedo Pérez

### RESUMO

*No presente trabalho foi caracterizado e avaliado o bagaço de agave tequileiro para conhecer seu potencial como um substrato alternativo equiparável a la turfa comercial. O bagaço se misturou com esterco de ovino 4:1 (v/v) e a mistura foi submetida a dois processos de biotransformação: vermicompostagem durante 130 dias, de onde se obteve vermicompostagem (bv), e composto convencional de onde se obtiveram dois materiais distintos, um composto madura (bc) de 130 dias (bc) e um composto imaturo (bp) com precomposto de 60 dias. Também se utilizou o bagaço original unicamente lavado com água (bf). Como substratos testemunhas se utilizaram turfas comerciais*

*importadas do Canadá; Sunshine 3 (s-s) e VTM Sogemix (vtm). Os materiais foram caracterizados em suas propriedades físicas de densidade aparente, densidade real, determinação de retenção de umidade, e nas propriedades químicas de capacidade de intercâmbio catiônico, pH, condutividade elétrica (CE), concentração de ácidos fenólicos e conteúdo nutricional. Os resultados mostram que as propriedades, tanto físicas como químicas, dos substratos bp, bv e bc são adequadas e similares aos materiais testemunha (s-s) e (vtm), e que apresentam um grande potencial como substrato orgânico em agricultura.*

de acuerdo a trabajos previos (Rodríguez *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 1999; Iñiguez *et al.*, 2006).

Por otra parte, para la producción de plántulas en contenedor se utilizan grandes cantidades de sustratos orgánicos comerciales, que generalmente son turbas (peat moss®) suplementadas con diferentes productos que mejoran sus características, tanto físicas como químicas, con el fin de ofrecer a la planta las mejores condiciones para su desarrollo.

Uno de los aspectos más importantes en la producción de plántulas en contenedor es la calidad del sustrato, dada su función proporcionar un medio adecuado de crecimiento a las plántulas (Styer y Koransky, 1997). El sustrato tiene cuatro funciones: 1) proveer agua, 2)

suministrar nutrientes, 3) permitir el intercambio gaseoso, y 4) servir de soporte físico para las plantas (Nelson, 1991). Las propiedades físicas aceptables de un sustrato forman parte integral de la calidad del mismo. No obstante, no existe un sustrato que proporcione todos los requerimientos para todas las situaciones, ya que las condiciones físicas no son constantes, y poco pueden ser modificadas por el productor cuando el cultivo ya ha sido establecido (Fonteno *et al.*, 1996; Reish, 2001).

El presente trabajo fue realizado con el objetivo de evaluar el potencial del bagazo de agave como sustrato alternativo, mediante la obtención y caracterización de materiales biotransformados de bagazo, con la finalidad de obtener una buena

base para sustrato o medio de crecimiento con características físicas y químicas semejantes a los de uso comercial. Con ello se pretende contribuir a una gestión objetiva y eficiente para el aprovechamiento del bagazo de agave.

### Materiales y Métodos

#### Ubicación del experimento

El estudio fue realizado en los laboratorios del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, y del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México.

#### Tratamientos

Se utilizaron tres sustratos a partir del bagazo de agave

tequileiro proporcionado por una industria tequilera de Amatitán, Jalisco, México, con un tamaño de partícula entre 2 y 4mm de longitud, el cual se mezcló con estiércol de ovino precompostado en proporciones de 4:1 v/v y fue sometido a i. vermicompostaje durante 130 días (bv), ii. precompostaje por 60 días (bp), y iii. compostaje durante 130 días (bc). Los tiempos de biodegradación se establecieron de acuerdo a Rodríguez *et al.* (2001), al evaluar la maduración de diferentes compostas de bagazo de agave. Se incluyó como material de prueba bagazo puro únicamente lavado con agua para eliminar los azúcares presentes (bf). Como sustratos testigos se utilizaron las turbas comerciales importadas de Canadá Sunshine 3 (s-s) y VTM Sogemix (vtm).

**Propiedades físicas.** Se determinó la densidad aparente (Da) por el método de la probeta (Ansorena, 1994) y la densidad real (Dr) por picnometría de líquidos (Téres et al., 1996). A partir de dichas determinaciones se obtuvo la porosidad del sustrato utilizando la ecuación  $Pt(\%) = 100(1-Da/Dr)$ . La determinación de retención de humedad se realizó por el método de la columna colgante (De Boodt y Verdonck, 1974), y a partir de dicha medición se obtuvo porosidad de aire (Pa), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua total disponible (ATD).

**Propiedades químicas.** Se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en acetato de amonio 1N, pH7. El pH y la conductividad eléctrica (CE) fueron determinados siguiendo el método de extracto de saturación (Warncke, 1986) con un equipo Conductronic, modelo PC45. La relación C:N fue calculada con base al análisis del carbono orgánico total y nitrógeno total microKjeldahl (Horneck y Miller, 1998), y la concentración de ácidos fenólicos en el extracto utilizando un espectrofotómetro Espectronic 20, Bausch & Lomb, a 725nm, de acuerdo con la metodología de Swain y Hillis (1959), modificada por Jones (1997).

**Concentración nutrimental.** La determinación de la concentración de N<sub>2</sub> en los sustratos evaluados, se realizó por el método de microKjeldahl (Horneck y Miller, 1998). El P, K, Ca y Mg fueron determinados después de la digestión húmeda (Alcántar y Sandoval, 1999), mediante la cual se mineraliza la totalidad de los componentes orgánicos. Estos elementos fueron seguidamente cuantificados mediante espectrofotometría de absorción atómica (Varian ICP-AES Plasma 96). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Para el análisis de resultados se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones, y

TABLA I  
DENSIDAD APARENTE Y REAL, POROSIDAD TOTAL Y DE AIRE DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS

Sustrato	Da (Mg·m <sup>-3</sup> )	Dr (Mg·m <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Pa (%)
bf	0,1881 a	1,3736 b	89,0 a	13,53 b
bv	0,1994 a	1,4083 b	79,0 b	25,06 a
bp	0,1711 b	1,3681 b	83,0 b	26,04 a
b-c	0,1727 b	1,3880 b	79,66 b	24,80 a
s-s	0,1469 c	1,6000 a	90,0 a	4,25 c
vtm	0,1522 c	1,2664 c	88,5 a	2,82 c
Significación	**	**	**	**
DSH	0,0123	0,0788	4,0525	4,5670
CV	4,02	3,16	1,42	13,52
*Recomendados	<0,4	1,5-2,65	70-85	20-30

Da: densidad aparente, Dr: densidad real, Pt: porosidad total, Pa: porosidad de aire, DSH: Diferencia Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (p<0.01). \*Ansorena (1994); Abad (1995); De Boodt y Verdonck; (1974); Handreck y Blanck (1994). \*\* p<0.01(altamente significativo).

se procesaron con el paquete estadístico SAS (1999).

## Resultados y Discusión

### Propiedades físicas de los sustratos

La Tabla I presenta las propiedades físicas correspondientes a los sustratos bagazo fresco (bf), bagazo precompostado (bp), bagazo compostado (bc), bagazo vermicompostado (bv), y los testigos Sunshine 3 (s-s) y VTM Sogemix (vtm).

**Densidad aparente (Da).** El menor valor de Da lo obtuvo el testigo Sunshine 3 (s-s) con 0,14Mg·m<sup>-3</sup>, mientras que la mayor la presentó el bagazo vermicompostado (bv) con 0,19 Mg·m<sup>-3</sup>. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p<0.01) entre los tratamientos y éstas se deben al tipo de material orgánico utilizado (Pire y Pereira, 2003). Los valores encontrados se explican, ya que el sustrato bv presentó mayor homogeneidad de partícula por a la acción de las lombrices durante el proceso de vermicompostaje, por lo que disminuyó la porosidad e incrementó su Da (Tabla I). Los resultados reportados son en general inferiores a los reportados por Hernández et al. (2008) en vermicomposta de frutos de palma aceitera mezclada con estiércol bovino (0,35Mg·m<sup>-3</sup>). Sin embargo, la Da obtenida en los materiales evaluados es

superior a la reportada por Pire y Pereira (2003) en otros sustratos orgánicos, tales como la fibra de coco (0,077), cascarilla de arroz (0,099) y bagazo de caña (0,065), pero se hallan dentro de los valores recomendados por Ansorena (1994) y Handreck y Blanck (1994), que proponen una Da<0,6Mg·m<sup>-3</sup> como aceptable.

**Densidad real (Dr).** En la Tabla I se muestran los valores de Dr obtenidos en los sustratos analizados. Entre los tratamientos a base de bagazo de agave no se observaron diferencias significativas; sin embargo, estos fueron estadísticamente diferentes (p<0,01) a los testigos s-s y vtm, con 1,6 y 1,2Mg·m<sup>-3</sup>, respectivamente. La similitud entre los sustratos a base de agave es debida a que se utilizó el mismo material orgánico pero con diferentes procesos de biodegradación, tal y como lo indican Pire y Pereira (2003). Las diferencias entre los sustratos testigos se deben a que están compuestos por turbas suplementadas con diferentes proporciones de otros materiales como vermiculita y/o agrolita, que les confieren determinadas características físicas. En general, los valores aquí reportados son mayores si se compara con los reportados por Guerrero et al. (2002) para corteza de pino (0,182) o por Hernández et al. (2008) para vermicomposta de frutos de palma aceitera mezcla-

da con estiércol bovino (0,82), pero inferiores a la citada por Atiyeh et al. (2001) para vermicomposta de estiércol de cerdo, de 1,88Mg·m<sup>-3</sup>.

**Porosidad total (Pt).** El valor máximo de Pt (Tabla I) corresponde al testigo vtm (90%), pero estadísticamente es igual al bf (89%) y al testigo s-s (88,5%), que son diferentes estadísticamente (p<0,01) a los tratamientos bp, bc y bv. Esto se explica por la mayor densidad de estos últimos, ya que fueron sometidos a procesos de degradación y por consiguiente una reducción en su granulometría. Resultados similares (79-87%) obtuvieron Zapata et al. (2005) en composta de corteza de pino mezclada con residuos sólidos urbanos. Cabrera (1999) y Abad (1995) reportan que el valor ideal de porosidad total es 70-85%. Con base a lo anterior, los valores obtenidos en los sustratos bp, bc, y bv, se encuentran en el intervalo adecuado.

**Porosidad de aire (Pa).** Los tratamientos a base de bagazo de agave presentaron los valores más altos en Pa, sobresaliendo los sustratos bp, bp y bc, que difieren estadísticamente (p<0,01) de los testigos s-s y vtm (Tabla I). El menor valor lo registró el testigo vtm con 2,82%, seguido de s-s con 4,25%, valores semejantes a los reportado por Pire y Pereira (2003) para suelo con 2,2% y 4,7 en arena. De Boodt y Verdonck (1974) mencionan que la Pa es la propiedad física más importante para valorar la calidad de un sustrato, recomendando una Pa de 10-30%. Los resultados obtenidos en los sustratos con bagazo de agave se mantienen dentro de los valores ideales para favorecer el intercambio gaseoso con las raíces de las plantas.

**Agua fácilmente disponible (AFD).** Los sustratos bv y bp presentan los valores más bajos de AFD con valores de 19,6 y 19,8%; sin embargo, se acercan al nivel mínimo propuesto por Abad (1995), quien recomienda un volumen de agua fácilmente disponible entre 20 y 30% (Tabla II). Por su parte, bc y los testigos s-s y vtm presentan

porcentajes ideales del 21,7; 32 y 33%, respectivamente. Cabe destacar que la AFD fue mayor en bf (47,0%), lo que se explica por ser un material que no fue sometido a biodegradación, por lo que se le atribuye, un mayor tamaño de partículas y, como tal, mayor espacio poroso.

**Agua de reserva (AR).** De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla II), los sustratos que presentan los valores mínimos de AR son el bf, bc y vtm, lo que coincide con los sustratos con valores altos de AFD. Esto sugiere una relación inversa entre AFD y AR. No obstante, los tratamientos bv, bp, y s-s, con porcentajes de 13,8; 14,0 y 14,4 superaron el nivel de 4-10% recomendado por Abad (1995). Ello se debe a que el bagazo de agave está compuesto por fibras de diferentes tamaños, las cuales presentan aberturas y poros que funcionan a manera de canales de diversas dimensiones, los cuales incrementan y retienen el volumen de agua (Figura 1). Esto representa una ventaja con respecto a los materiales con menor AR, al permitir a la planta tener agua disponible por más tiempo (Alonso y Rigal, 1997).

**Agua total disponible (ATD).** El mayor volumen de ATD lo presentó el sustrato bf con 53,75%, siendo diferentes estadísticamente ( $p < 0,01$ ) a los demás tratamientos (Tabla II). Esta tendencia se observó también en los materiales testigo s-s y vtm. Esto es de esperarse, debido al tamaño de partícula y a la presencia de parénquima, el cual admite una capacidad elevada de imbibición que permite almacenar mayor cantidad de agua. Los sustratos bv, bc y bp presentaron porcentajes de 34,42; 33,83 y 31,42 respectivamente, los cuales disminuyeron respecto al bf debido a la disminución o ausencia de parénquima como efecto del proceso de degradación. No obstante, los valores de ATD en los sustratos a partir de

TABLA II  
RETENCIÓN DE HUMEDAD  
EN LOS SUSTRATOS DE BAGAZO  
DE AGAVE ANALIZADOS

Sustrato	Afd (%)	Ar (%)	Atd (%)
bf	47,0 a	7,24 c	53,75 a
bv	19,6 b	13,80 a	34,42 d
bp	19,8 b	14,00 a	33,83 d
bc	21,7 b	9,33 b	31,42 e
s-s	32,0 b	14,40 a	46,19 b
vtm	33,2 ab	8,71 b	41,97 c
Significación	**	**	**
DSH	13,9122	1,4732	1,4694
CV	14,63	6,08	1,46
*Recomendado	20-30	4-10	24-40

AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ATD: agua total disponible, DSH: Diferencia Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales ( $p < 0,01$ ).

\*Abad(1995).

\*\*  $p < 0,01$  (altamente significativo).

bagazo se encuentran dentro del intervalo recomendado por Abad (1995) de 24-40%.

#### Propiedades químicas de los sustratos

**Potencial de hidrógeno (pH).** Los sustratos más ácidos fueron bf (pH= 4,7), s-s (5,7) y vtm (6,0), mientras que el más alcalino fue el bv, lo cual coincide con lo reportado por Fraile y Obando (1994), quienes al trabajar con residuos de banano encontraron valores de pH hasta 8,4. Al respecto, Bollo (1999) menciona que la función de las glándulas de Morren de la lombriz es secretar carbonato de calcio y producir una digestión alcalina, por lo que es de esperar valores de pH alcalinos en vermicomposta. Por otro lado, los materiales bp, bc tuvieron valores de pH ligeramente alcalinos (8,0 y 7,4; Tabla III). Esto se explica por el carácter básico de los materiales orgánicos que han sufrido un proceso de degradación, donde el pH se eleva por efecto del desprendimiento de amoníaco proveniente de la descomposición de proteínas (Soliba, 1998). Aunado a lo anterior, Bunt (1988) señala que el pH óptimo para el

crecimiento de plantas en sustratos orgánicos es de 5,0-5,5 pero no excluye que algunas especies puedan desarrollarse fuera de este intervalo.

**Conductividad eléctrica (CE).** Solamente el tratamiento bc presentó una CE alta ( $1,59 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) en comparación con bf, bv, bp, s-s y vtm. Esto significa que el contenido de sales incrementa a medida que avanza la descomposición de los materiales orgánicos, presentándose una mayor concentración por la pérdida de masa, además de la posible lixiviación de las sales durante el proceso (Morales *et al.*, 2009). Valores similares se reportan en compostas de pasto ( $0,8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ; Eggerth *et al.*, 2007) mientras que valores típicos de CE en suelo van de 0 a  $1,5 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  ([http://tmecc.org/sta/compost\\_attributes.html](http://tmecc.org/sta/compost_attributes.html)) y según Bunt (1988) son adecuados para el desarrollo de plántulas.

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** En el caso de la CIC, los tratamientos difirieron estadísticamente ( $p < 0,01$ ). El s-s y el vtm mostraron los valores más altos de CIC ( $108$  y  $62,8 \text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ , que coinciden con lo reportado por Búres (1997) en turbas, con  $115 \text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ , al tiempo que el tratamiento bf mostró el menor nivel con  $13,53 \text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ , y los materiales bv y bc presentaron valores muy semejantes. Al respecto, Puustjarvi (1994) menciona que los materiales

orgánicos poseen una elevada CIC, lo que supone un depósito de reserva para los nutrientes. Por otro lado, Ansorena (1994) recomienda que cuando se aplique de manera continua solución nutritiva se utilice sustratos con baja CIC, que serían, bajo este argumento, los sustratos bp, bc y bv, con valores de 34,06; 41,0 y  $42,0 \text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ .

**Relación carbono nitrógeno (C:N).** En la Tabla III se presentan los valores de la relación C:N de los sustratos analizados, donde bf presentó el mayor, de 116, debido al gran contenido de fibra que no sufrió degradación, mientras que los tratamientos bp, bc, bv, presentaron valores de 26, 24, y 27, respectivamente, los cuales según Abad y Noguera (1998) se encuentran en el intervalo óptimo, ya que mencionan que una relación C:N  $> 30$  es considerada adecuada para el cultivo en sustratos orgánicos, y es un índice de un material maduro y estable; sin embargo, Lemaire (1997) y Sánchez-Hernández *et al.*, (2007) indican que la relación C:N no es suficiente para considerar a un material orgánico como estabilizado, lo que concuerda con los valores obtenidos con los tratamientos s-s (42,6) y vtm (57,2).

**Ácidos fenólicos totales (AFT).** En la Tabla III se presentan los valores de AFT de los sustratos bp, bc y bv, los cuales fueron iguales estadísticamente ( $p < 0,01$ ) a los testigos s-s y vtm, y cuya concentración en general es baja, comparadas con el sustrato bf; que presentó una concentración de  $55,5 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Esto es debido a que el bagazo fresco no sufrió una biodegradación, lo que concuerda con Díaz (2004), quien obtuvo concentraciones de AFT de  $67,83 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$  en paja de trigo, la cual no inhibió significativamente el número de semillas de brócoli germinadas; valores decrecientes, hasta de  $1,05 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ , no tuvieron efecto significativo en el desarrollo de las plántulas.

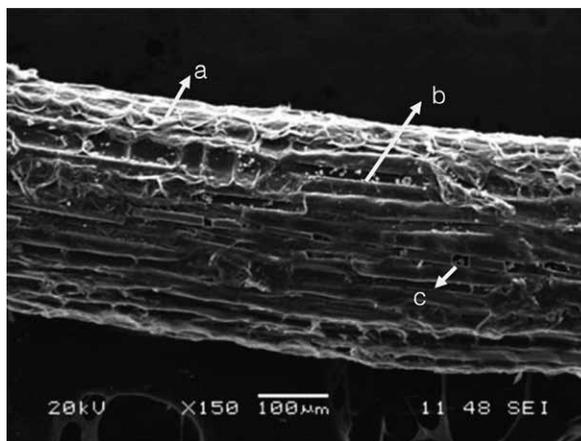


Figura 1. Fibra de bagazo de agave tequilero. a: parénquima, b: canales, y c: poros.

las, por lo que el autor concluye que materiales orgánicos no composteados usados como sustratos presentan problemas de fitotoxicidad por las altas concentraciones de ácidos fenólicos. Los valores encontrados en el presente estudio, excepto en bf, no representan problema alguno.

**Materia orgánica (MO).** Todos los sustratos de bagazo del agave presentaron valores de materia orgánica entre 85 y 93%, que fueron estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los tratamientos testigos s-s y vtm, con 79 y 58% respectivamente, lo que se debe en gran medida a que, además de fertilizantes como aditivos, también se suplementan con vermiculita y otros materiales no combustibles en la incineración. La pérdida de MO en todos los sustratos se atribuye a los compuestos orgánicos solubles en agua (entre ellos, los ácidos fenólicos). La poca pérdida de MO en los sustratos a partir de bagazo de agave permite también considerarlos como materiales bioestables. La bioestabilidad es la propiedad de un material orgánico de perder poco peso y conservar sus características físicas y químicas durante varios meses, especialmente cuando en él crecen plantas (Lemaire, 1997).

#### Concentración nutrimental de los sustratos

**Nitrógeno total.** La concentración de N presentó el valor más alto en el sustrato bv, con 1,09%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos ( $p < 0,01$ ), mientras que los valores más bajos los presentaron bf y vtm con 0,60 y 0,59% respectivamente (Tabla IV). Estos contenidos bajos de N se relacionan con las altas relaciones C:N, lo que significa que ambos sustratos son más resistentes y su mineralización es más lenta (Sims, 1987). Porcentajes similares reportan Castillo *et al.* (2000) al evaluar

TABLE III  
PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS ANALIZADOS

Sustrato	MO %	pH	CE (dS·m <sup>-1</sup> )	CIC (meq·l <sup>-1</sup> )	C:N	AFT (µg·kg <sup>-1</sup> )
bf	93,0 a	4,72 e	0,2067 e	13,53 e	116	51,55 b
bv	85,6 a	8,52 a	0,5667 c	42,00 c	27,5	15,93 a
bp	93,0 a	8,06 b	0,3200 d	34,06 d	26,5	14,76 a
bc	91,2 a	7,42 c	1,5900 a	41,00 c	24,0	16,66 a
s-s	79,3 b	5,72 d	0,2800 de	108,13 a	42,6	9,57 a
vtm	58,25 c	6,00 d	0,7233 b	62,80 b	57,2	6,59 a
Significación	**	**	**	**	--NS--	**
DSH	0,0886	0,2075	0,0795	5,9483	-----	21,3839
CV	4,46	1,73	5,19	7,14	-----	20,16
*Recomendado		5,2-6,3	0,75-3,49	>20	20-40	

MO: materia orgánica, CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, C:N: relación carbono/nitrógeno, AFT: ácidos fenólicos totales. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales ( $p < 0,01$ ).

\*Ansorena, 1994.

\*\*  $p < 0,01$  (altamente significativo). DSH: Diferencia Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación. NS: no significativo.

vermicomposta de desechos de cocina mezclado con estiércol vacuno, con valores desde 0,53 hasta 1,25%.

**Fósforo.** Según se aprecia en la Tabla IV, los tratamientos bf, bp, y bc presentaron las menores concentraciones de P, de 37,87; 46,34 y 54,78ppm, respectivamente, mostrando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ) con respecto a los demás sustratos. La alta concentración de P encontrado en bv (95,98ppm), concuerda con lo reportado por Lee (1985) y Castillo *et al.* (1999), quienes concluyen que las lombrices ingieren con la materia orgánica grandes cantidades de P, la cual es digerida en el intestino y acentuada por la enorme actividad microbiana, por lo cual lo excretado tiene un alto contenido

de P. Son evidentes las diferencias de criterio entre autores sobre los valores óptimos de P en los sustratos orgánicos. Mientras Ansorena (1994) y Warncke (1986) proponen como adecuado el valor de 10ppm, Sungro (1997) lo establece en 60ppm. Tomando como referencia lo propuesto por los primeros autores, todos los sustratos analizados se ubican por arriba del valor óptimo, pero si se toma como referencia al segundo criterio, los sustratos que estarían fuera de dicho intervalo serían bv, s-s y vtm.

**Potasio.** En relación con el K, los tratamientos con mayor concentración fueron bv, bc y vtm con valores de 894,13; 954,55 y 1162ppm, respectivamente; sin embargo, no presentaron diferencias significativas con los demás

tratamientos. En general los valores de K son altos debido a las altas cantidades que en forma natural absorben y translocan los cultivos, y que permanece en los tejidos vegetales (Durán y Henríquez, 2007). Al respecto, Ansorena (1994) y Warncke (1986) proponen valores óptimos de 150-249 y 250-349ppm, mientras que Sungro (1997) establece como deseable el intervalo de 40 a 360ppm.

**Calcio.** Los materiales con mayor concentración de Ca fueron bp,

bc, y vtm con concentraciones similares a las reportadas en compostas de pasto, de residuos de papel y de residuos de alimentos con 875, 2800 y 2511ppm respectivamente (Eggerth, *et al.*, 2007). Los menores valores se presentaron en bf, bv y s-s.

**Magnesio.** El valor más alto de Mg se presentó en el sustrato vtm, con 735ppm, seguido por los materiales a partir de bagazo bv, bp y bc, mientras que bf y el s-s presentaron las menores concentraciones, con 230,73 y 223,07ppm. Al respecto, Eggerth *et al.* (2007) al evaluar compostas a partir de residuos de pasto, papel y residuos de alimentos obtuvieron concentraciones desde 990 hasta 3100ppm, superiores a las encontradas en este trabajo, por lo que se concluye que el contenido de nutrientes de sustratos producidos a partir de residuos orgánicos depende del material que le dio origen y a los procesos de biotransformación (Lee, 1985; Castillo *et al.*, 1999).

#### Conclusiones

Existe poca información sobre el manejo y uso del bagazo de agave, y en este estudio se demostró que dicho residuo, sometido a procesos de compostaje y vermicompostaje, representa una alternativa viable para su tratamiento y utilización. Aunado a esto, podrá ayu-

TABLE IV  
CONCENTRACIONES TOTALES DE NITRÓGENO, FÓSFORO POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN LOS SUSTRATOS ANALIZADOS

Sustrato	N %	P	extracto de saturación (ppm)		
			K	Ca	Mg
bf	0,60 c	37,87 c	454,38	211,64 c	230,73 c
bv	1,09 a	95,98 b	894,13	980,29 b	569,16 b
bp	0,70 b	46,34 c	954,55	1025,33 b	501,33 b
bc	0,83 b	54,78 c	756,23	1002,25 b	556,32 b
s-s	0,81 b	88,87 b	465,36	257,18 c	223,07 c
vtm	0,59 c	230,85 a	1162,1	1083,20 ab	735,56 a
Significación	*	*	NS	*	*
DSH	0,1558	21,4707		67,7529	170,9680
CV	8,42	13,02	7,10	4,8	17,73
*Recomendado		6-10	150-249	>200	>70

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales ( $p < 0,05$ ).

\*Ansorena, 1994

\*\*  $p < 0,01$  (altamente significativo). DSH: Diferencia Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación. NS: no significativo.

dar a resolver algunos problemas colaterales tales como la contaminación ambiental debida al mal manejo de los residuos generados por la industria tequilera. Adicionalmente, puede implicar la creación de empresas que produzcan los sustratos aquí estudiados, lo cual representaría por consecuencia la generación de empleos directos e indirectos en las regiones tequileras.

Los sustratos de bagazo de agave: precompostado (bp), compostado (bc) y vermicompostado (bv) demuestran un gran potencial para ser utilizados como sustrato alternativo a turbas comerciales, debido a que presentaron propiedades tanto físicas (Da, Dr, Pt, Pa y retención de humedad) como químicas (MO, CE, CIC, C:N) adecuadas, con un reservorio nutricional y baja concentración de ácidos fenólicos totales, mientras que el bagazo fresco (bf), por sus características físicas y químicas no es recomendable para ser utilizado como sustrato.

## REFERENCIAS

- Abad BM (1995) Sustratos para el cultivo sin suelo. En Nuez F (Ed.) *El Cultivo del Tomate*. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 131-265.
- Abad BM, Noguera P (1998) Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En Cadahia C (Ed.) *Fertirrigación de Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 282-342.
- Alcántar GG, Sandoval VM (1999) *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación Análisis e Interpretación*. Publicación especial N° 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados. México. 156 pp.
- Ansorena M (1994) *Sustratos propiedades y caracterización*. MundiPrensa. Madrid, España. 172 pp.
- Alonso M, Rigal L (1997) Caracterización y valorización del bagazo de *Agave tequilana* Weber de la industria del tequila. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 3: 31-39.
- Atiyeh RM, Edwards C, Subler S, Metzger J (2001) Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresour. Technol.* 78: 11-20.
- Aviña RM (1999) Manejo del bagazo de agave en la compañía Tequila Sauza. *Memorias Foro de Vinculación: Retos y Oportunidades para el Aprovechamiento del Bagazo de Agave*. Guadalajara, México. pp. 8-11.
- Bollo E (1999) *Lombricultura: Una Alternativa de Reciclaje*. Soboc. Quito, Ecuador. 149 pp.
- Bunt AC (1988) *Media and Mixes for Container-Grow Plants*. Unwin Hyman. Londres, RU. 77 pp.
- Burés S (1997) *Sustratos*. Eds. Agrotécnicas. Madrid, España. 342 pp.
- Cabrera RI (1998) Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 5: 5-11.
- Castillo AE, Vasquez S, Subosky MJ, Rodríguez SC, Sogari N (1999) Disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos abonados con lombricompost. *Inf. Tecnol.* 10: 179-182.
- Castillo A, Silvio H, Quarán S, Iglesias M (2000) Caracterización química de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc.* 60: 74-79.
- CRT (2008) *Informe Estadístico 2008*. Consejo Regulador del Tequila. Jalisco, México. [http://crtnew.crt.org.mx/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=52&Itemid=65](http://crtnew.crt.org.mx/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=52&Itemid=65)
- De Boodt M, Verdonck O (1974) Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- Díaz Serrano FR (2004) Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. *Memorias IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción*. Torreón, México. pp. 44-68.
- Durán L, Hernández C (2007) Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agron. Costarric.* 31: 41-51.
- Eggerth L, Díaz L, Chang M, Iseppi L (2007) Marketing of compost. En Díaz LF, Bertoldi M, Bildlingmaier W, Stentiford E (Eds.) *Compost Science and Technology*. Elsevier. Holanda. pp. 334-351.
- Fonteno WC, Nelson PV, Bailey DA (1996) Plug substrates. En *Search of the Perfect Mix. The Systems Approach to Growing Plugs: Water Substrate, and Nutrition*. North Carolina State University. Raleigh, NC, EEUU. pp. 56-67.
- Fraile J, Obando R (1994) Lombricultura: Alternativa para el manejo racional de los desechos del banano. *Aqua* 3: 17-22.
- Guerrero F, Gascó JM, Hernández AL (2002) Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *J. Plant Nutr.* 25: 129-141.
- Handreck KA, Blanck N (1994) *Growing Media Ornamental Plants and Turf*. Rev. ed.. New South Wales University. Kensington, Australia. 542 pp.???
- Hernández AJ, Guerrero LF, Mármol CL, Bárcenas BJ Ender S (2008) Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia* 33: 668-671.
- Horneck DA, Miller RO (1998) Determination of total nitrogen in plant tissue. En Kalra YP (Ed.) *Handbook of reference methods for plant analysis tissue. Left plants speak*. Soil and Plant Analysis Council. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 75-84.
- Iñiguez G, Rodríguez R, Virgen G (2006) Compostaje de materiales de descarte y aguas residuales de la industria de curtidurías. *Rev. Int. Contam. Amb.* 22: 113-123.
- Jones D (1997) *Total Phenolic Analysis*. British Society of Soil Science. Last modification June 16, 1999 [d.jones@bangor.ac.uk](mailto:d.jones@bangor.ac.uk)
- Lee KL (1985) *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press. Orlando, FL, EEUU. 423 pp.
- Lemaire F (1997). The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Hort.* 450: 63-69.
- Morales J, Fernández M, Montiel A, Peralta B (2009) Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*eisenia foetida*). *Biotecnología* 11: 19-26.
- Nelson PV (1991) Root Media. In *Greenhouse Operation and Management*. 4th ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. pp. 95-114.
- Pire R, Pereira A (2003) Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15: 55-63.
- Puustjarvi V (1994). *La Turba y su Manejo en la Horticultura*. Eds. Horticultura. Reus, España. 240 pp.
- Reish HM (2001) *Cultivos Hidropónicos*. 5ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 88 pp.
- Rodríguez MR, Álvarez de la Cuadra J, Pascoe O (1999) Utilización de sustratos obtenidos a partir de residuos de la industria tequilera para la propagación de plantas de ornato de la familia Crassulaceae. *NAKARI* 10: 39-41.
- Rodríguez MR, Pascoe S, Zamora NF, Álvarez de la Cuadra, Salcedo-Pérez E (2001) Evaluación de sustratos vegetales elaborados a partir de residuos de la industria tequilera. *Memorias I Congreso Nacional de Agricultura Sustentable*. Veracruz, México. pp. 257-259.
- Sánchez-Hernández R, Ordaz ChM, Benedicto VG, Palma LD, Sánchez BJ (2007) Chemical Characteristic Of Several Vermicompost in Mexico. *Compost Sci. Util.* 15: 47-52.
- SAS (1999) Software Versión 8 (TS MO), Licensed to Personal Computing Center, WSU, Site 0009142001. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU
- Sims JT (1987) Agronomic evaluation of poultry manure as a nitrogen source for conventional and non-tillage corn. *Agron. J.* 79: 563-570.
- Soliba M (1998) Aplicación del compostaje a la obtención de productos alternativos a los sustratos tradicionales. En Pastor S, J Narciso (eds) *Tecnología de Sustratos. Aplicación a la Producción Viverística Ornamental, Hortícola y Forestal*. Universidad de Leida, España. pp. 51-65.
- Soffchi TL (1999) Bagazo de agave en la fábrica de Tequila Ciervo la Rojeña. *Memorias Foro de Vinculación: Retos y Oportunidades para el Aprovechamiento del Bagazo de Agave*. Guadalajara, México. pp. 3-7.
- Styer RC, Koranski D (1997) *Plug and Transplant Production. A Grower's Guide*. Ball. Batavia, IL, EEUU. 373 pp.
- Sungro (1997). *Graphic interpretation guide*. Sungro Analytical Laboratories. Warwick, NY, EEUU.
- Swain T, Hillis WE (1959). Phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Agric. Food Chem.* 10: 63-68.
- Teres V, Arrieta V, Sánchez J, Lucas M, Ritter E (1996) Evaluación de la densidad real de sustratos de cultivo por medio del método de inmersión. *Inv. Agr. Prod. Veg.* 10: 231-244.
- Warncke DD (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21: 223-225.
- Zapata N, Guerrero F, Polo A (2005) Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustrato de cultivo. *Agric. Téc.* 4: 378-387.