

TIEMPOS DE APILADO DEL BAGAZO DEL Maguey Mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate

Gabino Alberto MARTÍNEZ GUTIÉRREZ^{1*}, Gilberto ÍÑIGUEZ COVARRUBIAS²,
Yolanda Donají ORTIZ-HERNÁNDEZ¹, Juana Yolanda LÓPEZ-CRUZ¹ y
Martha Angélica BAUTISTA CRUZ¹

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Calle Hornos 1003. CP 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Oax., México

² Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. Km. 15.5 carretera Guadalajara-Nogales. CP 45020, Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Guadalajara, Jalisco, México

*Autor responsable: gamartinezg@ipn.mx

(Recibido: diciembre 2012, aceptado junio 2013)

Palabras clave: agave, mezcal, sustrato orgánico, cultivo sin suelo, hidroponía

RESUMEN

La industria del mezcal en Oaxaca, México produce anualmente 122 696 toneladas de bagazo de maguey mezcalero (*Agave* spp.), producto de desecho subutilizado que es incinerado o vertido en ríos y arroyos, ocasionando un grave problema ambiental. Con la finalidad de utilizar el bagazo como sustrato orgánico alternativo para el cultivo sin suelo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), se evaluaron tres compost con diferentes tiempos de apilado (0, 90 y 180 días). Se determinó en cada uno de los materiales, sus propiedades físicas y fisicoquímicas; asimismo, fueron evaluados como sustratos en cultivo de tomate bajo invernadero y comparados con el sustrato polvo de coco. En los tres compost, los valores encontrados de las propiedades físicas y fisicoquímicas están dentro del nivel de referencia para sustratos de cultivo, excepto el pH cuyo valor fue de 7.3 a 7.7. El compost de 180 días mostró mejor relación granulométrica de partículas finas, medianas y gruesas, lo cual favoreció los valores de algunas propiedades físicas y de la relación aire-agua. Los tres compost de bagazo de maguey mezcalero utilizados como sustrato orgánico en cultivo sin suelo de tomate, superaron en rendimiento al obtenido con el sustrato polvo de coco y no afectaron la calidad del fruto. Con el bagazo de 180 días de apilado se obtuvo el mayor rendimiento (3.5 kg por planta) y número de frutos comerciales (26.4 frutos por planta).

Key words: agave, mezcal, organic substrate, soilless culture, hydroponic

ABSTRACT

The mezcal industry in Oaxaca, Mexico produces annually 122 696 tons of mezcal bagasse waste (*Agave* spp.), underutilized waste product that is incinerated or dumped into rivers and streams, causing serious environmental problems. In order to use, the organic bagasse waste as alternative for soilless culture of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), there were evaluated three compost from different stacking times (0, 90 and 180 days). To each material, it was determined their physical and physicochemical

properties, also, they were evaluated as substrates for the cultivation of tomato under greenhouse and compared with coconut dust. In the three compost, the found values of the physical and physicochemical properties are within the reference level for growing substrates, except for the pH value, which was high 7.3 to 7.7. The compost of 180 days showed better granulometric relationship particle ratio of fine, medium and coarse particles, which favors the values of certain physical properties and of the air-water ratio. The three maguey bagasse compost used as a soilless organic substrate for tomato outperformed the substrate obtained with the coconut dust and did not affect fruit quality. With the 180 days bagasse stacking the highest yield was obtained (3.5 kg per plant) and number of marketable fruits (26.4 fruits per plant).

INTRODUCCIÓN

En los Valles Centrales y Sierra Sur del estado de Oaxaca, México, se encuentra la principal región del mezcal, donde se cultivan aproximadamente 15 503 ha con *Agave* spp. principalmente *A. angustifolia* Haw., cuya producción de 130 240 t de materia prima sirven para la elaboración de 2.9 millones de litros de mezcal (Chagoya-Méndez 2004). Durante el proceso de extracción del mezcal, al final de la etapa de fermentación y destilación del tallo o “piña”, se elimina el bagazo de maguey, el cual dependiendo del proceso artesanal de molienda se estima entre el 14 y 20 % del peso total de la “piña” (Martínez *et al.* 2012), mientras que en Jalisco, México, las piñas del maguey tequilero (*A. tequilana* Weber) son procesadas industrialmente y el peso del bagazo es en promedio el 40 % del peso húmedo (Cedeño 1995). La industria mezcalera de Oaxaca produce anualmente 122 696 t de bagazo o desecho, producto subutilizado que es vertido en ríos, arroyos o utilizado mínimamente como combustible en hornos ladrilleros, ocasionando un grave problema al ambiente.

En Oaxaca, son escasos los estudios para la utilización de los subproductos de la industria mezcalera: bagazo de mezcal y vinazas. Martínez *et al.* (2012) encontraron que a excepción del pH, el bagazo de maguey mezcalero tiene buenas propiedades físicas y químicas, ubicados en los niveles de referencia para sustratos de cultivo sin suelo indicados por Abad *et al.* (2004). La mezcla de 25 % (v/v) de bagazo de maguey más 75 % (v/v) de vermiculita puede ser utilizado como sustrato en cultivo sin suelo de melón (Martínez *et al.* 2012).

En Jalisco, México, se ha demostrado que el maguey tequilero (*A. tequilana* Weber) puede ser utilizado para elaborar papel (Idarraga *et al.* 1999, Íñiguez *et al.* 2001b) y mezclado con granos y cereales es utilizado para la alimentación animal (Íñiguez *et al.* 2001a y b). Recientemente, Íñiguez *et al.* (2011) al evaluar el

proceso de compostaje de dos materiales de bagazo provenientes de dos fabricas de tequila con diferentes sistemas de extracción de azúcares (agua caliente y desgarrado mecánico de la piña) encontraron diferencias en el contenido de médula y fibra. Esto ocasiona diferentes tiempos de compostaje; sin embargo, al final del proceso los dos materiales fueron útiles como sustratos para el cultivo de tomate sin suelo. Por lo anterior el presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar las propiedades físicas y fisicoquímicas de tres materiales de compost de maguey mezcalero con diferentes tiempos de apilado, además de evaluar el sustrato en cultivo sin suelo de tomate bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca) del Instituto Politécnico Nacional (17° 01' 31.45" de latitud norte, 96° 43' 12.07" longitud oeste; altitud de 1526 msnm) y en el Laboratorio de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, Municipio de Zapopan, Jalisco, México. Se utilizó bagazo residual de maguey mezcalero (*A. angustifolia* Haw.) proveniente del palenque artesanal “Platas de Reyes” de San Juan Guelavila, Oaxaca, México. La cocción de las piñas en este palenque, se realiza en horno de tierra y su molienda es con piedra circular movida por tracción animal, posteriormente la piña triturada se pasa a tinajas de madera para su fermentación. El resultado de este proceso es una pasta de piña de maguey y alcohol, al extraer este último por medio de la destilación producida en “olla” de barro o cobre se separa la piña del maguey, la cual es conocida como bagazo y contiene un bajo porcentaje de alcohol. Los bagazos utilizados en la presente investigación fueron de tres tipos; dos de ellos sometidos a un apilado o

amontonamiento en el patio de la empresa de mezcal y el tercero sin apilar (tal como sale del palenque). El volumen de los materiales apilados fue de 8 m³ y permanecieron sin remover, el primero durante 180 días y el segundo durante 90 días. Al final de cada uno de estos tiempos, los dos materiales fueron envasados en bolsas de papel de 25 litros y colocados en lugar seco y fresco, para posteriormente ser sometidos a compostaje. En las instalaciones del CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca, los tres materiales de bagazo de maguey fueron sometidos durante 115 días a un proceso de compostaje. Cabe mencionar que a cada uno de los materiales se les aplicó al inicio del experimento nitrato de amonio (NH₄NO₃) en su presentación como fertilizante para ajustar la relación C:N a 25:1. Posteriormente, el proceso de compostaje consistió en mover y humedecer con agua potable el material cada tercer día como lo indican Iñiguez *et al.* (2011). El tiempo de compostaje fue de 115 días, durante el cual, las temperaturas de 58 a 70 °C en las tres pilas disminuyeron y permanecieron de 30 a 35 °C. Al término del proceso de compostaje los tres materiales tuvieron un olor agradable similar al de tierra de monte o tierra para jardinería.

Para los análisis físicos y fisicoquímicos de los compost, las muestras de cada uno de los materiales se obtuvieron separando las pilas longitudinalmente en dos partes, tomando en una de ellas, dos litros, de nueve puntos seleccionados al azar (tres en la parte de abajo, tres en medio y tres arriba). Los 18 litros de muestra se mezclaron homogéneamente y se obtuvieron tres submuestras de dos litros cada una. Con una submuestra se realizaron los análisis fisicoquímicos; con la segunda se efectuó la caracterización física, y la tercera se guardó en bolsas de plástico en lugar sombreado y seco para su posible uso como repetición para cualquiera de los análisis indicados.

Propiedades fisicoquímicas. Nitrógeno total (NT) determinado por macro Kjeldahl (AOAC 1984). Se obtuvo la humedad o materia seca de una muestra expuesta durante 24 horas a ± 105 °C y el contenido de cenizas por el método oficial AOAC (1984) en horno mufla a ± 550 °C durante 2 horas. El pH fue medido con un potenciómetro Hanna pH 211 y la conductividad eléctrica (CE) con medidor de conductividad y temperatura modelo 407303 marca Extech, ambos siguiendo el método de extractos en saturación (Warncke 1986). El carbono orgánico total (COT) fue calculado mediante la ecuación: % COT = (100 – cenizas)/1.8 (Golueke 1977). La relación C/N fue calculada con base en los análisis anteriores de carbono y nitrógeno. Las determinaciones de

celulosa y hemicelulosa fueron realizadas mediante los análisis de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) según técnica descrita por Georing y Van Soest (1970). El contenido de hemicelulosa se calculó por la diferencia de la FDA y FDN.

La proporción de pérdida de materia orgánica (MO) se obtuvo por mineralización durante el proceso de compostaje y se calculó de acuerdo a la ecuación: $R_m = 1 - (A_i/A_f)$. Donde A_i representa la masa de sólidos no volátiles (SNV, cenizas) inicial, y A_f la masa de SNV en cualquier momento de la toma de muestras en el tiempo de compostaje. Al multiplicar por 100, R_m expresa la pérdida de la masa como porcentaje de la masa inicial (Iñiguez *et al.* 2006). La pérdida de COT y nitrógeno se obtuvo de acuerdo a la ecuación:

$$PS = 1 - \frac{YX_0}{Y_0X}$$

Donde Y_0 es el porcentaje inicial de carbono o nitrógeno, Y el porcentaje de carbono o nitrógeno en cualquier punto del muestreo, X_0 el porcentaje inicial de cenizas y X el porcentaje de cenizas en cualquier punto del muestreo.

La densidad de campo fue determinada de acuerdo con la técnica descrita por el TMECC (2001).

Propiedades físicas. Se determinó la distribución del tamaño de partícula (expresada como porcentaje en peso) después de secado a 105 °C de acuerdo con Richards *et al.* (1986) y Martínez (1992). La densidad real (DR), densidad aparente (DA), espacio poroso total (EPT) y capacidad de retención de agua (CRA) por el método propuesto por De Boodt y Verdonck (1972) y la relación aire-agua por el método de De Boodt *et al.* (1974). Todas las determinaciones físicas y fisicoquímicas se hicieron por triplicado.

El experimento para la evaluación agronómica del compost como sustrato de cultivo se llevó a cabo de febrero a agosto de 2010, en un invernadero tipo multitúnel con cubierta de polietileno blanco de baja densidad (Castilla 2005). Se utilizó tomate (*Solanum lycopersicum* L. c.v. “Don Raúl”) de crecimiento indeterminado, fruto tipo “pera”, de 165 días de ciclo completo con 90 días de crecimiento, floración y reproducción, y 75 días de cosecha. Las plantas se condujeron a un solo tallo, dos plantas por bolsa de polipropileno negro de 18 L, fertirrigadas al 50 % con la solución nutritiva recomendada por Urrestarazu (2004).

El fertirriego fue por goteo, con goteros tipo botón de 4 L/h. Se realizaron seis riegos diarios de 6 minutos cada uno. Como sustrato testigo se utilizó polvo de coco tipo comercial sin marca registrada procedente de Colima, México, el cual fue hidratado con agua potable antes de colocarse en los contenedores. Al inicio del experimento y una vez colocados en los contenedores, tanto el sustrato polvo de coco como los tres compost de bagazo de maguey fueron saturados con solución nutritiva y se utilizaron cinco bolsas por tratamiento en total 20, cada material correspondió a un tratamiento. A las bolsas conteniendo los sustratos se les realizó una perforación de aproximadamente 1 cm de diámetro en una esquina inferior de la base para facilitar el drenado y fueron distribuidas en el invernadero bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento.

Las variables analizadas en el fruto de tomate fueron: rendimiento total (kg por planta) frutos comerciales y no comerciales de acuerdo con la norma de regulación de la Unión Europea (OJEU 2001) y calidad del fruto mediante la firmeza externa e interna expresada en kg/cm² y el contenido de sólidos solubles totales (° Brix).

Se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) para determinar la relación entre el tiempo de apilado fuera del palenque del compost de bagazo mezcalero con la producción y calidad del fruto. Las diferencias estadísticas fueron determinadas mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para la relación aire-agua se hizo un análisis de regresión. Los análisis estadísticos se

efectuaron con el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el **cuadro I** se observa que la conductividad eléctrica de los tres compost fue menor a 1.79 dS/m; en cambio, el pH fue mayor al intervalo de referencia para sustratos de cultivo sin suelo indicado por Abad *et al.* (1993). El pH del sustrato mayor a 7.0 puede afectar la nutrición de los cultivos (Bunt 1988), sin embargo se ha demostrado que valores altos de pH y CE del sustrato no presentan riesgo para su uso, ya que el programa de riego aplicado durante el desarrollo del cultivo de tomates y flores en contenedores, provoca una eficaz lixiviación de las sales solubles en exceso (Noguera *et al.* 2000, Abad *et al.* 2002).

Por otra parte, la densidad de campo de los tres compost aumentó con el tiempo de apilado natural, de 166.9 kg/m³ (tiempo cero) hasta 278.5 kg/m³ a los 180 días. Íñiguez *et al.* (2011) encontraron en compost de bagazo de *Agave tequilana*, valores de 142 kg/m³ y 106.9 kg/m³ a los 126 días de compostaje para un bagazo entero (fibra y médula) y otro al que se le había removido previamente la médula.

El contenido de materia orgánica (MO) disminuyó de 69.77 % (tiempo cero) a 59.31 % conforme aumentó el tiempo de apilado natural (180 días), estos valores fueron menores a los recomendados por Abad *et al.* (1993) quienes mencionan que el valor de esta propiedad deberá ser mayor a 80 %.

CUADRO I. ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL BAGAZO DE MAGUEY MEZCALERO (*A. angustifolia*) Y SUS COMPOST

Propiedad	Bagazo		Compost de bagazo			
	Tiempo de apilado (días)					
	0	90	180	0	90	180
Humedad (%)	80.60	68.87	43.16	66.38	58.85	59.95
Materia seca (%)	19.40	31.13	56.84	33.62	41.15	40.04
pH	5.32	7.52	7.96	7.37	7.70	7.61
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.37	1.90	2.24	1.77	1.79	1.64
Densidad de campo (kg m ⁻³)	106.50	80.80	79.40	166.90	242.30	278.50
Cenizas (%) ^b	10.24	7.05	14.11	30.22	38.01	40.69
Materia orgánica (%) ^b	89.76	92.95	85.89	69.77	61.99	59.31
Carbono orgánico total (COT %) ^b	49.87	51.64	42.72	38.76	34.44	32.95
Nitrógeno total (NTK %) ^b	0.38	0.56	0.44	1.81	1.21	1.52
Relación C/N	131.24	92.21	97.09	21.39	27.27	21.69
Hemicelulosa (%) ^b	28.32	8.83	6.47	9.92	5.90	6.75
Celulosa (%) ^b	41.09	44.85	47.3	41.10	38.97	30.22
Lignina detergente ácido (%) ^b	10.68	13.06	10.85	9.01	6.40	10.14

^b En base seca

El contenido de carbono orgánico total (COT) del bagazo de maguey mezcalero fue de 42.7 a 51.6 %, al término de su compostaje disminuyó de 51.6% a 32.95 % debido al grado de mineralización. Lo cual coincide con los valores obtenidos de COT para dos fuentes diferentes de bagazo (49 y 42.5 %) de *A. tequilana* reportado por Iñiguez *et al.* (2011) así como con el 42.5 % encontrado en la turba *Sphagnum* por Abad *et al.* (2002).

Los bagazos como el del *Agave* spp., son considerados residuos lignocelulósicos y como tales tienen poco contenido de nitrógeno. En este caso el porcentaje de nitrógeno (NT) para los tres materiales de bagazo de maguey fue de 0.38 a 0.56 pero al final del compostaje fue de 1.21 a 1.81, este aumento probablemente fue debido a la adición de nitrato de amonio al inicio del proceso del compostaje.

Por otra parte, al establecer una relación entre el COT y el NT de los tres compost, se encontró que esta se ubica en el intervalo de referencia de 20 a 40 para sustratos de cultivo sin suelo (Abad *et al.* 2000). Esto indica que el tiempo de apilado natural no influyó en el proceso de compostaje porque los tres materiales alcanzaron su madurez y estabilidad química mediante la humificación (Burés 1997, Bernal *et al.* 1998). Valores similares de la relación C/N obtenidos a través del compostaje también fueron encontrados en el compost de desechos municipales (Herrera *et al.* 2008), en el compost de desechos vegetales de la horticultura bajo invernadero (Urrestarazu *et al.* 2008) y en cáscara de almendra como sustrato reutilizado en los cultivos alternos de tomate y melón (Martínez *et al.* 2009).

El contenido de hemicelulosa del bagazo de maguey con 0 días de apilado fue de 28.32 %; mientras que en los otros dos materiales con diferentes tiempos de apilado fue de 8.83 % para 90 días y 6.47 % para 180 días, lo cual podría atribuirse al contenido de la médula del bagazo como en lo encontrado para *Agave tequilana* por Iñiguez *et al.* (2011).

Al término del proceso de compostaje los valores de hemicelulosa, celulosa y lignina ácido detergente disminuyeron, sin mostrar alguna relación con el tiempo de apilado probablemente por la menor resistencia a la actividad microbiana, como en lo encontrado por Abad *et al.* (2002) en polvo de coco, quienes demostraron que parte del carbono está en forma de lignina y celulosa y esto confiere resistencia a la actividad microbiana.

En el **cuadro II** se observa que el compost de bagazo de 180 días de apilado mostró el mejor equilibrio granulométrico, conteniendo 3.81 % de partículas finas, 75.69 % de partículas medianas y

CUADRO II. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE TRES COMPOST DE BAGAZO DE MAGUEY MEZCALERO (*A. angustifolia*) CON DIFERENTE TIEMPO DE APILADO

Tamaño de partícula (mm)	Tiempo de apilado (días)		
	0	90	180
(% en peso)			
Finas			
< 0.125	0.11	0.03	0.83
0.125 - 0.25	0.24	0.08	2.98
Total	0.35	0.11	3.81
Medianas			
0.25 - 0.42	5.55	0.56	7.47
0.42 - 1.18	40.94	24.55	36.48
1.18 - 2.0	13.10	20.31	13.39
2.0 - 4.75	17.00	19.49	18.35
Total	76.59	64.91	75.69
Gruesas			
4.75 - 9.5	6.32	12.46	8.65
9.5 - 16	6.29	11.67	6.55
> 16	10.45	10.85	5.30
Total	23.06	34.98	20.50

20.50 % de gruesas. Este equilibrio granulométrico puede mejorar algunas propiedades físicas y la relación aire-agua como en lo encontrado para el sustrato de perlita (Marfá *et al.* 1993) y en el sustrato de cáscara de almendra reutilizada en los cultivos de melón y tomate (Martínez *et al.* 2009).

Con el tiempo de compostaje la densidad real (DR) y la densidad aparente (DA) aumentaron ligeramente en los tres materiales (**Cuadro III**). Los valores de DR encontrados se ubicaron dentro del intervalo de referencia (1.45-2.65 g/cm³) señalado por Abad *et al.* (2000) para sustratos de cultivo sin suelo. Los valores de DA para los tres materiales también resultaron adecuados para sustratos de cultivo al tener valores menores a 0.4 g/cm³ (Abad *et al.* 2000). En cuanto al espacio poroso total (EPT) los valores encontrados para los materiales a 0 y 90 días resultaron adecuados para sustratos de cultivo (> 85 %, Abad *et al.* 2000). Para el bagazo con 180 días de apilado el valor del EPT resultó ligeramente menor (83.37 %) respecto al reportado (>85%) como de referencia (Abad *et al.* 2000).

La capacidad de aireación (CA) aumentó ligeramente con el tiempo de apilado, sin rebasar el intervalo de referencia (Abad *et al.* 1993). Con 180 días de apilado el compost tuvo una mejor distribución granulométrica con mayor porcentaje en peso de partículas finas (3.81%) que los materiales con

0 (0.35 %) y 90 días (0.03%). Resultados similares fueron encontrados por Martínez *et al.* (2009) en el sustrato cáscara de almendra reutilizado hasta por 695 días.

Los valores de la relación aire-agua (**Cuadro III**) de los tres compost variaron con respecto al tiempo de apilado. El agua fácilmente disponible (AFD) aumentó linealmente y a los 90 días se ubicó en el intervalo de referencia. El agua de reserva (AR) disminuyó y a los 180 días fue menor al de referencia. Como resultado de la suma de las dos últimas propiedades, el agua total disponible no tuvo grandes variaciones y los valores de los tres materiales se ubicaron en el intervalo de referencia, mientras que el agua difícilmente disponible al igual que el AFD, aumentó con el tiempo de apilado. El comportamiento de esta última propiedad es similar a lo encontrado en cáscara de almendra por Martínez *et al.* (2009).

Los diferentes tiempos de apilado de los compost evaluados en el cultivo de tomate tuvieron un efecto significativo ($p < 0.05$) en rendimiento total, frutos comerciales y no comerciales, así como en la firmeza externa del fruto, sin afectar la firmeza interna ni el contenido de sólidos solubles totales (**Cuadro IV**). Con el compost de 180 días de apilado se obtuvo el mayor rendimiento (3.5 kg por planta) y el mayor número de frutos comerciales (26.4 frutos por planta). El menor rendimiento (2.0 kg por planta) y el mayor número de frutos no comerciales (8.8 frutos por planta) se obtuvieron en plantas cultivadas en el sustrato polvo de coco. Este bajo rendimiento de las plantas cultivadas en el sustrato polvo de coco, se debió fundamentalmente a las diferencias en los valores de la capacidad de aireación (31.90 % v/v) y agua fácilmente disponible (29.70 % v/v), los cuales fueron altos, en comparación con los obtenidos en los sustratos de compost con 0 y 90 días de apilado (**Cuadro III**).

Evans *et al.* (1996), Noguera *et al.* (2000) y Vargas *et al.* (2008), indican que al utilizar materiales

CUADRO III. PROPIEDADES FÍSICAS DEL COMPOST DEL BAGAZO DE MAGUEY MEZCALERO (*A. angustifolia*) CON TRES TIEMPOS DE APILADO

Propiedad	Tiempo (días)			Polvo de coco ¹	Intervalo de referencia
	0	90	180		
Densidad real (g/cm ³)	1.72	1.79	1.82	1.48	1.45-2.65 ^(††)
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.19	0.26	0.30	0.08	<0.4 ^(††)
Espacio poroso total (%)	88.53	88.12	83.37	94.30	> 85 ^(††)
Capacidad de aireación (% v/v)	11.47	14.88	16.63	31.90	10-30 ^(†)
Relacion aire: agua					
Agua fácilmente disponible (% v/v)	14.27	18.69	34.66	29.70	20-30 ^(†)
Agua de reserva (% v/v)	10.76	04.76	02.17	10.00	04-10 ^(†)
Agua total disponible (% v/v)	25.03	23.45	36.83	39.70	24-40 ^(†)
Agua difícilmente disponible (% v/v)	04.67	21.56	27.88	23.00	n. d.

(†)Abad *et al.* (1993); (††)Abad *et al.* (2000); ¹Vargas *et al.* (2008); n. d.: no determinado

con alta capacidad de aireación y baja capacidad de agua fácilmente disponible en cultivos sin suelo, los riegos deberán ser más frecuentes y de menor volumen.

El compost con 180 días de apilado tuvo una mejor distribución granulométrica (**Cuadro II**), lo que aumentó ligeramente los valores de capacidad de aireación, agua fácilmente disponible y agua total disponible (**Cuadro III**). Al respecto, diversos autores indican que el tamaño de las partículas y su distribución afectan el crecimiento de la planta y tienen repercusiones en la producción ya que determinan el balance del agua y el aire en el sustrato (Handreck 1983, Ansorena 1994, Vargas *et al.* 2008).

CUADRO IV. TIEMPOS DE APILADO DEL BAGAZO DE MAGUEY MEZCALERO Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DEL COMPOST COMO SUSTRATOS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE EN COMPARACIÓN CON EL SUSTRATO POLVO DE COCO

Sustratos ¹	Producción			Calidad del fruto		
	Rendimiento (kg/planta)	Comercial (frutos/planta)	no comercial	Firmeza externa (kg/cm ²)	Interna	Sólidos solubles totales (° Brix)
0	2.8b ²	22.4b	5.2b	5.6a	1.5a	4.5a
90	3.0b	15.2c	3.6c	5.2a	1.5a	4.6a
180	3.5a	26.4a	6.8b	4.2b	1.5a	4.6a
P. de coco	2.0c	14.4c	8.8a	5.4a	1.8a	4.2a

¹ Compost con 0, 90 y 180 días de apilado y polvo de coco. ² Medias con letras iguales en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Los valores de la firmeza externa del fruto de tomate fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$). El mayor valor se obtuvo en los frutos de plantas cultivadas en compost sin apilar (5.6 kg/cm^2), seguidas de las plantas cultivadas en polvo de coco (5.4 kg/cm^2). Todos los valores de la firmeza externa fueron mayores al obtenido en tomate tipo "bola" (2.99 kg/cm^2) cultivado en lana de roca por Urrestarazu *et al.* (2005), lo cual se puede deber a la diferencias en los valores de la CE del fertirriego y a las diferentes variedades de tomate utilizados. Tanto los valores de la firmeza interna del fruto; que en promedio fueron de 1.5 kg/cm^2 , como los de los sólidos solubles totales (4.6°Brix) no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). El valor de este último parámetro fue similar a los encontrados en tomate cultivado en compost de desechos hortícolas (4.4°Brix) con 135 días de uso (Urrestarazu *et al.* 2008), al tomate producido en sustrato lana de roca (4.71°Brix) y en cáscara de almendra (5.1°Brix) (Urrestarazu *et al.* 2005).

CONCLUSIONES

Los tiempos de apilado del bagazo de maguey mezcalero modificaron los valores de las propiedades fisicoquímicas, pero fue con el compostaje, cuando alcanzaron a ubicarse en los niveles de referencia para sustratos de cultivo, excepto el pH que fue de 7.3 a 7.7.

El compost con 180 días de apilado mostró una mejor relación entre tamaños de partículas (finas, medianas y gruesas), mejorando algunas propiedades físicas como la capacidad de aireación y el agua fácilmente disponible, lo que repercutió en el mayor rendimiento comercial de tomate (3.5 kg/m^2) de los tres materiales de compost evaluados así como del sustrato polvo de coco.

Tanto el compost de bagazo de maguey como el polvo de coco evaluados como sustratos no afectaron la calidad del fruto de tomate.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado, por el financiamiento que hizo posible la realización del presente trabajo en los proyectos SIP- 20110309 y 20120828.

REFERENCIAS

- Abad M., Martínez P. F., Martínez M.D. y Martínez J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Hort.* 11, 141-154.
- Abad M., Noguera P. y Burés S. (2000). Inventario de sustratos y materiales para ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España. *Acta Hort.* 32, 361-377.
- Abad M., Noguera P., Puchades R., Maquieira A. y Noguera V. (2002). Physical-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technol.* 82, 241-245.
- Abad M., Noguera P. y Carrión C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: *Manual del cultivo sin suelo*. (M. Urrestarazu, Ed.) 3a. ed. MundiPrensa. Madrid, España. pp. 113-158.
- Abad M., Fornes F., Carrión C., Noguera P., Noguera V., Maquieira A. y Puchades R. (2005). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *Hortscience.* 40, 2138-2144.
- Ansorena M. (1994). *Sustratos propiedades y caracterización*. MundiPrensa, Madrid, España. 172 p.
- AOAC (1984). Official methods of analysis. 14a. ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C. 952 p.
- Bernal M. P., Paredes C., Sánchez-Monedero A. y Cegarra J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technol.* 63, 91-93.
- Bunt A. C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. 2a ed. Unwin Hyman, Londres, Reino Unido. 350 pp.
- Burés S. (1997). *Sustratos*. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 342 pp.
- Castilla N. (2005). *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*. MundiPrensa. Madrid, España. 462 pp.
- Cedeño C.M. (1995). Tequila production. *Crit. Rev. Biotechnol.* 15, 1-11.
- Chagoya-Méndez, V.M. 2004. Diagnóstico de la cadena productiva del sistema producto maguey-mezcal. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación SAGARPA Delegación Oaxaca, Oaxaca, México. 167 p. <http://www.oedrus-oaxaca.gob.mx/Estudios/diagnostico/SPMM%20VERSION%20FINAL.swf> 20/06/2013
- De Boodt M. y Verdonck O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26, 37- 44.

- De Boodt M., Verdonck O. y Cappaert I. (1974). Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37, 2054-2062.
- Evans M. R., Konduru S. y Stamps R.H. (1996). Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *Hortscience* 31, 965-967.
- Geoering H.K. y Van Soest P.J. (1970). Forage fiber analysis. Apparatus, reagents, procedure and some applications. En: *Agriculture Handbook* 379. (ARS. USDA). Washington DC, EUA. pp 1-20.
- Golueke C.G. (1977). Biological processing: composting and hydrolysis. En: *Handbook of solid waste management* (D.G. Wilson, Ed.) Van Norstrand Reinhold, Nueva York, EUA. pp. 197-225.
- Herrera F., Castillo J. F., Chica A. F. y Bellido-López L. (2008). Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technol.* 9, 287-296.
- Handreck K. A. (1983). Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 14, 209-222.
- Idarraga G., Ramos J., Zúñiga V., Sahin T. y Young R. A. (1999). Pulp and paper from blue *Agave* waste from tequila production. *J. Agr. Food Chem.* 47, 4450-4455.
- Íñiguez G., Lange S. E. y Rowell R. M. (2001a). Utilization of by-products from the tequila industry: Part 1: *Agave* bagasse as a raw material for animal feeding and fibreboard production. *Bioresource Technol.* 77, 25-32.
- Íñiguez G., Lange S. E. y Rowell R. M. (2001b). Utilization of by-products from the tequila industry: Part 2: Potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technol.* 77, 101-108.
- Íñiguez G., Parra J. y Velasco P. A. (2006). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de *agave* durante el compostaje. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22, 83-93.
- Íñiguez G., Martínez G. A., Flores R. P. y Virgen G. (2011). Utilización de subproductos de la industria tequilera Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de *agave* para la obtención de un sustrato para jitomate. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 27, 47-59.
- Marfá O., Martínez A., Orozco R., Serrano L. y Martínez F. X. (1993). The use of fine grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Hort.* 342, 339-347.
- Martínez F. X. 1992. Propuesta de la metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Acta Hort.* 11, 55-66.
- Martínez-Gutiérrez G. A., Ortiz-Hernández. Y. D., Urrestarazu M., Salas S. J. y Escamirosa T. C. (2009). La rotación de cultivos y las propiedades de la cáscara de almendra como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 32, 135-142.
- Martínez-Gutiérrez G. A., Zárate Altamirano, G. y Urrestarazu M. (2012). Maguey bagasse waste: a sustainable substrate in soilless culture by melon and tomato crop. *J. Plant Nutr.* 35, 2135-2144.
- Martínez-Gutiérrez, G. A. y Urrestarazu M. (2012). *Cultivo sin suelo en cáscara de almendra: Un sustrato sostenible alternativo*. Editorial Académica Española. Madrid, España. 152 pp.
- Martínez J. (1997). Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Acta Hort.* 450, 365-374.
- Noguera P., Abad M., Noguera V., Puchades R. y Maquieira A. (2000). Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Hort.* 517, 279-286.
- OJEU (2001). Commission regulation (EC) N 717/2001 of 10 April 2001 amending regulation (EC) No 790/2000 laying down the marketing standard for tomatoes. Official Journal of European Union Brussels, Belgium, European Union. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:100:0011:0011:EN:P DF 25/08/2012>
- Richards D., Lane M. y Beardsell D. V. (1986). The influence of particle size distribution in pine bark: sand brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Sci. Hortic-Amsterdam.* 29: 1-14.
- SAS Institute (2002). *Statistical Analysis System. SAS/ETS 9 User's Guide, Volumes 1 and 2*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA. 2143 pp.
- TMECC (2001). Test methods for the examination of composting and compost. US Composting Council. <http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/34/TMECC%20Purpose,%20Composting%20Process.pdf> 12/11/2012
- Urrestarazu M. (2004). *Tratado de cultivo sin suelo*. MundiPrensa. Madrid, España. 400 pp.
- Urrestarazu M., Martínez G. G. A. y Salas Ma. del C. (2005). Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Sci. Hortic.* 103, 453-460.
- Urrestarazu M., Mazuela P. C., y Martínez G. G. A. (2008). Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crops. *J. Plant Nutr.* 31, 2031-2043.
- Vargas T. P., Castellanos R. J. Z., Sánchez G. P., Tijerina L. Ch., López R. R. M. y Ojodeagua A. J. L. (2008). Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31, 375 - 381.
- Warncke D. D. (1986). Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hortscience* 21, 223-225.