

Crecimiento y producción de fresa (fragaria x ANANASSA DUCH) en sustratos a base de compostas

Horacio Alvarado , María Tavera, Gustavo Mena, Guillermo Calderón, R. López y Edmar Salinas

H. Alvarado, M. Tavera, G. Mena, G. Calderón, R. López y E. Salinas

Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P. 56235. México.

Instituto Politécnico Nacional (UPIICSA). Av. Té No. 950 Esquina Resina, Col. Granjas México, C.P. 08400, Delegación Iztacalco, Distrito Federal, México.

Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C.P. 56235. México.

Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Azcapotzalco), Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Delegación Azcapotzalco, Distrito Federal, México.

Colegio de Postgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. México.
horacioa@correo.chapingo.mx

M. Ramos, M. Tavera, J. Quintanilla, G. Chaparro, F. Iglesias. (eds.), Desarrollo Sustentable y Finanzas. Tópicos Selectos de Recursos-©ECORFAN-Bolivia, Sucre, Bolivia, 2014.

Abstract

Pot production for strawberry has been proposed as a technique which can avoid methyl bromide utilization and peat moss is the main substrate amendment for pot production. Peat moss industry is currently having environmental observations and it is necessary to find a sustainable substitute for peat as a pot substrate amendment. This research compared peat moss to compost from both cow manure and sheep manure. Both compost types were mixed at rates of 0, 25, 50 and 75% with a previous mixture of perlite and peat (1:1). From those treatments without compost, one of them was fertilized weekly with 1.0 g of 12-11-18-3 (N, P, K and Mg) and the other one had no chemical fertilization. There were also treatments made of compost and perlite solely (1:1). In general, compost from sheep manure resulted in more fruits per plant ($p < 0.0001$), but compost from cow manure resulted in wider fruit diameters ($p < 0.0001$) while fruit weight remained relatively unaffected ($p < 0.012$). Compost from sheep manure at 50% in the substrate yielded the highest ($p < 0.0001$). Plants grown in substrate with compost but no peat yielded statistically similar than those grown in the substrates with any of the peat-compost mixture and were statistically superior to plants grown with chemical fertilizer. Dry matter allocation to plant parts depended on compost type and concentration in the media, but the addition of peat to the media had no effect on this variable ($p < 0.05$). Total dry matter per plant was greater in plants grown in media with sheep manure than in plants grown in any of the peat-perlite mixture ($p < 0.005$). Treatments did not affect clearly fruit quality, even though fruit firmness and Total Soluble Solids (TSS) tended to be higher with compost in media. Leaf mineral content was not affected by treatments except for manganese (Mn), which was statistically lower in leaves from plants grown with compost. It is concluded that compost may be an effective substitute for peat for strawberry pot production, but compost concentration in the substrate must be considered.

6 Prólogo

El cultivo de fresa se ha presentado en México como un sistema dinámico con presencia internacional. Según los datos proporcionados por la FAO, en el periodo comprendido entre 2000 y 2011 la superficie cosechada de fresa en nuestro país varió entre 6,503 y 6,978 hectáreas, mientras que el rendimiento (ton.Ha^{-1}) para este mismo período se incrementó de 21.7 (2000) a 32.8 (2011), registrando consecuentemente un aumento en la producción total desde 141,130 hasta 228,900 toneladas. En 2011, México tuvo el octavo lugar en superficie cosechada de este cultivo por debajo de países como Polonia, Rusia, Estados Unidos, Alemania, Turquía, Ucrania y Serbia; sin embargo, en cuanto a rendimiento por superficie, México se posicionó en ese año en el lugar número diez con un rendimiento de 32.8 ton.Ha^{-1} , por debajo de Estados Unidos (56.4 ton.Ha^{-1}), Jordania (54.5 ton.Ha^{-1}), Marruecos (44.0 ton.Ha^{-1}), Egipto (42.7 ton.Ha^{-1}), Chipre (41.8 ton.Ha^{-1}), Colombia (39.7 ton.Ha^{-1}), España (38.1 ton.Ha^{-1}), Israel (34.4 ton.Ha^{-1}) y Costa Rica (33.3 ton.Ha^{-1}) (FAOSTAT, 2013). Los principales estados mexicanos productores de fresa, según su superficie plantada en el 2012, fueron Michoacán (4,716 Ha), Baja California (2,480 Ha) y Guanajuato (959.5 Ha), aunque figuran otros estados como Estado de México, Jalisco y Baja California Sur con superficies plantadas menores a las 350 Ha (SIAP, 2014). Debemos hacer especial énfasis en la diferencia que existe en el rendimiento entre México y Estados Unidos, ya que este país es el principal importador de fresa mexicana, principalmente de los estados de Michoacán y Baja California.

El potencial de rendimiento de la fresa en México puede alcanzar al visto en Estados Unidos. En el año 2012, los estados de Baja California y Michoacán alcanzaron rendimientos de 52.2 y 43.1 ton.Ha^{-1} , respectivamente (SIAP, 2014). Para incrementar los rendimientos se requiere, además de cultivares adecuados, la generación de tecnología que permita optimizar el uso eficiente de la superficie y la producción de fresa en contenedores puede ser una opción para incrementar los

rendimientos por área al permitir incrementar el número de plantas en sistemas de producción bajo cubierta (Paranjpe et al. 2008).

Otra ventaja de la producción de fresa en contenedores es la reducción de fungicidas como el bromuro de metilo. Éste es un fungicida que daña la capa de ozono, por lo tanto, se encuentra en vísperas de prohibición. En países como Estados Unidos, muchas de las investigaciones relacionadas con el cultivo de fresa se centran en buscar alternativas a la utilización de este fungicida. En México, el bromuro de metilo ya no podrá ser utilizado en 2015. La producción de fresa mexicana aun es dependiente de la utilización de bromuro de metilo y la producción en contenedores de este cultivo es una alternativa para eliminar su utilización (Paranjpe et al., 2003); sin embargo, se requiere encontrar los sustratos adecuados, además de tener un manejo fitosanitario y de nutrición apropiados.

Entre los materiales más comunes para la producción hortícola en maceta se encuentra la turba o peat moss. La turba de Sphagnum (peat) presenta un alto grado de aireación y retención de humedad, lo cual lo convierte en un sustrato ideal para la producción hortícola en maceta y actualmente continua como referencia en este sistema de producción; sin embargo, la utilización de peat en nuestro país presenta la limitante de los altos precios que alcanza en comparación con otros materiales, ya que es un producto de importación. Esta limitante se agravará en los próximos años debido a que existe una preocupación a nivel mundial respecto al daño ecológico que se está generando con la extracción del musgo Sphagnum, pues la regeneración de este recurso natural es muy lenta en comparación con su extracción. Lo anterior obligará a los países productores de peat a legislar sobre la extracción de este recurso y los precios inevitablemente se incrementarán (Revière et al. 2008). Ante esta circunstancia, varios países se han propuesto encontrar sustitutos del peat como material para la producción hortícola en maceta y se han estudiado diversos materiales, entre ellos la fibra de coco y las compostas (Lanzi et al., 2009).

La utilización de compostas como sustrato para la producción de fresa es una propuesta que actualmente se está presentando como una solución sustentable a la problemática de la generación de desechos orgánicos. Hargreaves et al. (2009a) no encontraron diferencias entre la fertilización inorgánica y la fertilización a base de composta de estiércol y desechos sólidos municipales en cuanto a la concentración de minerales en la hoja de fresa del cultivar Sable. En otro experimento con fresa al cultivar Elsanta en macetas de 5 L y bajo túneles de polietileno, se encontró que se pueden obtener rendimientos de hasta $397 \text{ g.planta}^{-1}$ (MacNaedhe, 1997).

Un aspecto que se tiene que cuidar en la producción con composta es la calidad e inocuidad. El presente trabajo se sustenta en la necesidad de encontrar sustratos para la producción de fresa en maceta y el objetivo fue analizar la factibilidad del uso de la composta como sustrato para la producción en contenedores y el efecto que ésta tiene sobre el desarrollo y rendimiento de la planta, así como en la calidad e inocuidad del fruto.

6.1 Materiales y Métodos

Sitio y material experimental. El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel de 15 x 30 m, en el campo experimental San José del área de Fruticultura, ubicado en el Colegio de Postgraduados (CP) campus Montecillos, en Texcoco, Estado de México (19° 30' LN; 98° 53' LW). Se utilizaron plantas de fresa del cultivar 'Jacona', surgidas del programa de mejoramiento del CP. Las plantas se cosecharon de un vivero ubicado en el CP-Montecillos el 21 de octubre de 2010 y se enfriaron a 5.0 °C durante una semana antes de plantarse en una bolsa de polietileno negro con capacidad de 2.0 kg. Se colocaron dos plantas por bolsa y fueron regadas manualmente con agua de llave.

Características de los sustratos. Los sustratos estuvieron hechos a base de composta, turba de Sphagnum (peat) y agrolita. Se estudiaron dos tipos de composta, una hecha a base de estiércol de vaca y otra a base de estiércol de ovino (Cuadro 1). Ambos tipos de composta fueron elaborados durante 2010 en una planta experimental en Xochimilco, D.F. Para elaborar los diferentes sustratos se hizo una mezcla base de peat y agrolita (1:1; v/v), la cual se mezcló posteriormente en diferentes proporciones con cualquiera de los dos tipos de composta.

Diseño experimental. Se estudiaron ocho tratamientos que consistieron en agrolita y peat (1:1; sin composta) con y sin fertilización química, dos mezclas de composta de ovino con la mezcla base de peat:agrolita a razón de 1:3 y 1:1, dos mezclas de composta de vaca con la mezcla base de peat:agrolita a razón de 1:3 y 1:1, una mezcla de composta de ovino con la mezcla base de peat:agrolita a razón de 3:1 y una mezcla de agrolita:composta de ovino (1:1; sin peat). Al tratamiento con fertilización química se le aplicó 1.0 g de 12-11-18-3 (N-P-K-Mg) de forma semanal. Cada tratamiento tuvo 10 repeticiones que se distribuyeron dentro del túnel bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el bloque (hilera) tuvo una repetición de cada tratamiento. La unidad experimental consistió en una maceta con dos plantas de fresa cada una.

Tabla 6 Características de la composta utilizada para elaborar sustratos para producción de fresa en maceta y bajo cubierta en Texcoco, Estado de México.

| Tipo de Composta | Materia prima | Relación C:N | Materia Orgánica (%) | Nitrógeno (%) | Carbono orgánico (%) |
|----------------------|--|--------------|----------------------|---------------|----------------------|
| Estiércol de Borrego | Estiércol de Borrego, madera de eucalipto, pasto | 28.3 | 69.4 | 1.42 | 40.25 |
| Estiércol de Vaca | Estiércol de vaca, cladodios de nopal, pasto. | 25.5 | 49.2 | 1.12 | 28.54 |

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en laboratorio.

Cosecha de frutos y determinación de variables de desarrollo. Para la evaluación de rendimiento por planta se realizaron 11 cosechas de forma manual durante la etapa de fructificación (de abril a agosto de 2011). En cada cosecha se registró el número de frutos por planta y el peso de frutos, para lo cual se utilizó una báscula digital OHAUS modelo LS200. En los días 23 de mayo (207 días después de plantación – DDP), 7 de junio (222 DDP) y 21 de junio (236 DDP), los frutos se secaron hasta peso constante en una estufa modelo BLUE M POM-246 a una temperatura de 72°C. Se calculó el peso seco de fruto, con dicho dato más el peso fresco total de frutos cosechados, se estimó el peso seco total de frutos por repetición. Al final del experimento (septiembre de 2011) se separaron las plantas en raíz, corona, hoja, flores y frutos restantes y estolones. Las partes se secaron y se obtuvo el peso seco por órgano.

Análisis de calidad. Los frutos cosechados en los 207 y 222 y 236 DDP se destinaron para un análisis de calidad en donde se midió el diámetro de fruto, color, ablandamiento, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT). El diámetro se midió con un vernier tomando dos medidas: el valor más alto que resulta de medir el fruto horizontalmente (diámetro ecuatorial largo) y el valor más bajo que resulta de medir el fruto de fresa horizontalmente (diámetro ecuatorial corto). El color se determinó por medio de un colorímetro HunterLab Mini Scan XE Plus 45-O-L. Se obtuvieron los valores de L, a y b, con los cuales se calcularon el ángulo de tono ($^{\circ}$ Hue; Fórmula 1) que indica el color y la pureza (Chroma; Fórmula 2) que indica la intensidad de la pigmentación.

$$\text{°Hue} = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (6)$$

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)(a^2 + b^2)^{1/2} \quad (6.1)$$

El ablandamiento de fruto se determinó por medio de la profundidad de penetración (mm) con un penetrómetro modelo Sommer & Runge, con un puntal cónico de 95 mm, un peso de la punta de 145.5 gramos y con un tiempo de 5 segundos; se utilizaron 10 repeticiones por tratamiento. La concentración de SST fue determinada por medio de un refractómetro digital modelo ATAGO en una escala de 0 a 93%; para ello, se le agregó de 3 a 4 gotas de jugo de fresa. La AT se determinó por medio del método de la fenolftaleína y con base al ácido cítrico (Fórmula 3). Para ello se tomaron 5.0 gramos de muestra de fruto que se maceraron con 50 ml de agua destilada. Después de filtrar en papel Watman No. 2, se tomó una alícuota de 5 ml a la cual se le aplicaron 3 a 4 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, a esta solución se le adicionó hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N hasta detectar cambio de color y se registró el NaOH gastado. Para este análisis se utilizaron tres repeticiones por tratamiento de cinco frutos cada una, cada repetición consistió en 5 frutos. El cálculo de acidez se realizó en base al ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido cítrico).

$$\text{Ac. cítrico (\%)} = \left[(a \times b \times c \times V) / P \times A \right] \times 100 \quad (6.2)$$

Donde:

a=mL NaOH gastados

b=Normalidad de NaOH (0.1)

c=Mili equivalentes de ácido cítrico (0.064)

V=volumen total de la mezcla inicial (mL agua+gramos de pulpa de fruto)

P=peso de muestra a titular (5.0 g)

A=alícuota (5 mL)

Evaluación de inocuidad de fruto. Los análisis de inocuidad se realizaron con frutos muestreados al azar en los 207 y 222 y 236 DDP. La presencia de hongos se evaluó en muestras de los 207 y 222 DDP y para ello los frutos se incubaron a temperatura ambiente en charolas de plástico en el laboratorio. Los frutos se observaron durante los cuatro días posteriores para determinar de manera visual la intensidad de colonización y después se aislaron en placas de papa dextrosa agar con cuatro repeticiones por tratamiento para poder identificar los hongos con ayuda del microscopio. La presencia de coliformes se determinó con frutos muestreados a los 236 DDP, se eligieron frutos al azar (100 gramos de muestra) y se cultivaron a temperatura ambiente en sustrato a base de caldo lauril sulfato de sodio en un medio agar-agar.

Concentración foliar de minerales. Se realizó un análisis foliar al final del ciclo productivo para determinar la concentración de Nitrógeno (%), por medio de digestado con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor; Fosforo (%), por medio del digestado con mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría por reducción con molibdo-vanadato; Potasio (%), por digestado con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama; Hierro (mg.kg^{-1}) y Manganeso (mg.kg^{-1}), ambos por medio de digestado con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de absorción atómica; y Boro (mg.kg^{-1}), por medio de digestado con mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría con azometina-H. Para este análisis, se tomaron todas las hojas de tres repeticiones por tratamiento tomadas al azar, las hojas fueron mezcladas y se tomaron muestras para determinar la concentración foliar de minerales.

Análisis de datos. Los datos obtenidos en el experimentos fueron analizados con el paquete SAS versión 9.0 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EE.UU) bajo un modelo de bloques completos al azar. Se utilizó el procedimiento GLM y se realizó una comparación de medias por la prueba de Tukey con un 95% de confianza ($\alpha=0.05$).

6.2 Resultados y Discusión

Crecimiento vegetativo. El crecimiento de planta determinado al final del ciclo productivo por la acumulación total de materia seca fue significativamente menor ($p=0.005$) en aquellos tratamientos sin composta en comparación con aquellos que incorporaron el 25% y 50% de composta de ovino en la mezcla de peat y agrolita (1:1); sin embargo, no se observó diferencia significativa en la acumulación de materia seca total al comparar los tratamientos sin composta (incluyendo aquel con fertilización química) con los tratamientos con composta de vaca, independientemente de la dosis en el sustrato, ni con el tratamiento con 50% composta de ovino sin peat (Cuadro 2). Respecto al crecimiento por órgano medido al final del ciclo por la acumulación de materia seca, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con respecto a la raíz y la corona, pero sí en la hoja ($p=0.0001$) y en las estructuras reproductivas ($p=0.01$). Se pudo observar una acumulación de materia seca significativamente inferior en las estructuras reproductivas en aquellas plantas cultivadas sin composta y fertilizadas químicamente en comparación con aquellas cultivadas con el resto de los tratamientos, incluido aquel sin composta y sin fertilización química; aquí, sólo el tratamiento con 25% de composta de vaca no logró incrementar la acumulación de materia seca en los órganos reproductivos en relación con el tratamiento con fertilización química. En el caso de hoja, aunque se pudo observar una tendencia a incrementar su contenido de materia seca con la utilización de compostas, las diferencias estadísticas fueron menos agrupadas; no obstante, se pudo encontrar que la mezcla con 50% de composta de ovino y 50% de agrolita (sin peat) y la mezcla de 25% de estiércol de ovino con 37.5% de peat y 37.5% de agrolita resultaron con plantas con mayor materia seca en este órgano en comparación con los sustratos sin composta, con o sin fertilización química.

Otros experimentos han mostrado que la utilización de vermicompostas puede incrementar la biomasa de la parte aérea de la planta de fresa (Arancon et al., 2004) y la utilización de compostas puede incrementar su materia seca total (Wang and Lin, 2002; Singh et al., 2008). En nuestro experimento, al comparar entre los sustratos con y sin composta, el incremento en materia seca total fue visto con la composta a base de estiércol de ovino y no así con la composta a base de estiércol de vaca y aunque los efectos en los diferentes órganos mostraron tendencias diferentes, el estiércol de ovino fue también el que incrementó la materia seca en estructuras reproductoras y hojas (Cuadro 2). Raviv (2005) indica que las compostas en la producción en contenedores actúan mejorando las características del sustrato de varias maneras, entre ellas, incrementando su actividad biológica, su contenido de materia orgánica (MO) y la disposición de minerales. En experimentos con fresa del cultivar 'Chandler' en donde los sustratos tratados con compostas fueron enriquecidos con N, P y K hasta igualar la concentración de esos elementos encontradas en los sustratos con sólo fertilización química, también se observó un incremento en el peso seco total en plantas cultivadas en los sustratos con compostas en comparación con las plantas producidas con sólo fertilización química, lo que hace inferir que el beneficio de las compostas no necesariamente es un incremento en la disposición de elementos minerales, sino un incremento en la actividad microbiana (Arancon et al., 2004). En este sentido tenemos que considerar que la MO está ligada a la actividad microbiana, ya sea que sea sustrato para su metabolismo, un producto de éste o sea parte de los mismos componentes biológicos microbianos (Gregorich et al., 1994). Por otro lado, en suelos contaminados con metales pesados y tratados con compostas de residuos sólidos urbanos, la actividad de las enzimas deshidrogenasa (indicador de la actividad microbiana), Celulasa y β -glucosidasa se incrementa en aquellos suelos con composta (Cunha-Queda et al., 2010).

En nuestro experimento, las compostas a base de estiércol de borrego utilizadas tuvieron 20% más de MO que las compostas hechas a base de estiércol de vaca y, aunque no se midió la actividad microbiana, se podría inducir una mayor actividad biológica en la composta de ovino que en la de vaca, originando una mayor acumulación de materia seca en la planta.

Tabla 6.1 Acumulación total de materia seca por órgano y por planta de fresas cultivadas en maceta con diferentes sustratos a base de composta

| Composta:peat:agrolita (%) | Peso Seco Total (g) | | | | |
|----------------------------|---------------------|--------|-------------------|----------|---------|
| | Raíz | Corona | Flor+Fruto | Hoja | Total |
| 0:50:50 ^Z | 22.3 | 6.4 | 1.5b ^W | 36.5cd | 60.9b |
| 0:50:50 | 26.6 | 7.8 | 58.8a | 26.6d | 80.1b |
| 25:37.5:37.5 ^Y | 32.4 | 11.8 | 66.4a | 57.0ab | 145.2a |
| 25:37.5:37.5 ^X | 18.8 | 9.5 | 48.1ab | 43.2bcd | 107.3ab |
| 50:25:25 ^Y | 32.0 | 10.2 | 60.6a | 55.7abc | 145.3a |
| 50:25:25 ^X | 10.7 | 8.1 | 68.1a | 49.2abcd | 136.1ab |
| 75:12.5:12.5 ^Y | 24.6 | 9.6 | 56.8a | 52.0abc | 138.9ab |
| 50:0:50 ^Y | 20.5 | 8.0 | 52.7a | 60.3a | 134.9ab |

^ZFertilizada químicamente de manera semanal con 1.0 g de 12-11-18-3(N-P-K-Mg)

^YComposta elaborada a base de estiércol de ovino

^XComposta elaborada a base de estiércol de vacuno estabulado

^WValores con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferente de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en laboratorio.

Rendimiento y dimensiones de fruto. En general, la utilización de compostas en el sustrato para la producción de fresa en contenedor en este experimento resultó en incrementos en el número de frutos por planta, el rendimiento total por planta y el diámetro de fruto (Cuadro 3). Existen otros trabajos previos que han reportado el incremento del rendimiento en fresa con la incorporación de vermicomposta (Arancon et al., 2003; Arancon et al., 2004; Sing et al., 2008). Algunos de estos efectos fueron atribuidos a incrementos en la actividad microbiana de los suelos adicionados con vermicompostas (Arancon et al., 2003), o a la acción de hormonas reguladoras del crecimiento y sustancias húmicas estimuladas por la vermicomposta (Arancon et al.; 2004). Por su parte Moral et al. (2009) mencionan que un efecto de las compostas incorporadas a los sustratos es la mejora de su capacidad de retención de humedad y su disposición del agua para la planta y, en el caso de fresa, el 80% a 85% del crecimiento del fruto responde al alargamiento celular, el cual es altamente sensible a la falta de humedad en el suelo (Hancock, 1999).

Tabla 6.2 Componente de rendimiento en plantas de fresa cultivada en maceta con diferentes sustratos a base de composta.

| Composta:peat:agrolita (%) | Frutos por planta | Rendimiento por planta (g) | Diámetro de fruto (cm) | Peso de Fruto (g) |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| 0:50:50 ^Z | 10.7b ^W | 114.4b | 2.83bc | 10.2ab |
| 0:50:50 | 31.3a | 401.2a | 3.50ab | 13.1a |
| 25:37.5:37.5 ^Y | 44.5a | 409.9a | 2.88bc | 9.5ab |
| 25:37.5:37.5 ^X | 37.0a | 414.8a | 3.91a | 11.6ab |
| 50:25:25 ^Y | 44.2a | 454.5a | 2.77c | 10.2ab |
| 50:25:25 ^X | 12.3b | 129.8b | 4.07a | 8.5b |
| 75:12.5:12.5 ^Y | 36.3a | 380.1a | 3.32abc | 10.7ab |
| 50:0:50 ^Y | 35.0a | 429.6a | 3.36abc | 12.6ab |

^Zfertilizada con fertilizante semanalmente con 1.0 g de 12-11-18-3(N-P-K-Mg)
^YComposta elaborada a base de estiércol de ovino
^XComposta elaborada a base de estiércol de vacuno estabulado
^WValores con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferente de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en laboratorio.

Es también importante hacer notar que los resultados en este experimento muestran una diferencia en el efecto sobre los componentes de rendimiento debido al origen de la composta y a la dosis utilizada. En general, las compostas hechas a base de estiércol de ovino resultaron con mayor rendimiento por planta debido a su mayor número de frutos, pero el diámetro de fruto sólo se vio incrementado por las compostas a base de estiércol de vaca, mientras que el mayor peso de fruto se obtuvo con los sustratos sin composta (Cuadro 3). Respuestas como la observada en este experimento también han sido documentadas en experimentos previos con fresa (Arancon et al., 2003; Arancon et al., 2004; Singh et al., 2008) donde la respuesta de la planta depende del origen de la composta; igualmente en tomate se encontraron evidencias de respuestas a la aplicación de compostas que dependían de la variedad (Zaller, 2007).

Calidad de Fruto. No se obtuvieron suficientes frutos para determinar las variables relacionadas con calidad de fruto en los tratamientos sin composta (con fertilización química) ni en el tratamiento con 50% de composta de vaca adicionado a un 25% de peat y 25% de agrolita por lo que los análisis se realizaron comparando el resto de los tratamientos. La utilización de compostas en los sustratos tendió a incrementar la firmeza del fruto, determinada por la profundidad de penetración, y en general incremento los sólidos solubles totales. Aunque no hubo diferencias entre tratamiento con respecto a la acidez titulable, ésta también tendió a aumentar con la incorporación de composta al sustrato (Cuadro 4). Singh et al. (2008) reportan incrementos en la firmeza y los SST de frutos de fresa con la incorporación de vermicomposta al suelo y Singh et al. (2010) encontraron incrementos en estas variables con la aspersión foliar de lixiviado de vermicomposta de vaca y lixiviado de vermicomposta de residuos vegetales, en ambos casos, los investigadores explicaron las diferencias por el incremento en crecimiento de planta que también fue encontrado con la incorporación de vermicomposta y la aspersión de lixiviados. Wang y Lin (2002) también encontraron mayor contenido de SST en fruto de fresa crecidas en suelos donde se incorporó 50% o 100% de composta aunque no ofrecen explicación a sus resultados para esta variable. En nuestro experimento, también se encontró un incremento en el crecimiento de planta, medido con la acumulación de materia seca total en la planta, en aquellas plantas crecidas en sustratos con compostas (Cuadro 2), por lo que ello puede ser la explicación al incremento en firmeza encontrado en el fruto; sin embargo es necesario estudiar a más detalle este efecto.

Tabla 6.3 Atributos de calidad de fruto de fresa cultivada en maceta con diferentes sustratos a base de composta.

| Composta:peat:agrolita (%) | Ablandamiento (1/10 mm) | SST (°Brix) | A.T (%) | L | Chroma | °Hue |
|----------------------------|-------------------------|-------------|---------|---------|--------|---------|
| 0:50:50 ^Z | ND ^W | ND | ND | ND | ND | ND |
| 0:50:50 | 122.7a ^V | 7.04c | 0.78 | 23.02ab | 19.39 | 19.87ab |
| 25:37.5:37.5 ^Y | 103.2b | 9.26a | 0.88 | 24.09ab | 22.53 | 21.43ab |
| 25:37.5:37.5 ^X | 108.6ab | 7.36bc | 0.99 | 21.97b | 19.76 | 17.94b |
| 50:25:25 ^Y | 119.8ab | 7.80abc | 1.09 | 23.63ab | 20.40 | 21.92a |
| 50:25:25 ^X | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 75:12.5:12.5 ^Y | 113.9ab | 8.88ab | 1.02 | 24.62a | 21.89 | 20.40ab |
| 50:0:50 ^Y | 114.6ab | 8.15abc | 1.08 | 23.31ab | 19.06 | 21.09ab |

^Zfertilizada con fertilizante semanalmente con 1.0 g de 12-11-18-3(N-P-K-Mg)

^YComposta elaborada a base de estiércol de ovino

^XComposta elaborada a base de estiércol de vacuno estabulado

^WNo hay datos disponibles

^VValores con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferente de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en laboratorio.

Relacionado con el color del fruto, los valores de luminosidad, Chroma y °Hue obtenidos en este experimento estuvieron por debajo de otros valores para frutos de diversas variedades de fresa cultivadas convencionalmente en el centro de México (Martínez-Bolaños et al., 2008) lo que indica, en nuestro caso, frutos más rojos pero con menor intensidad de pigmentos; sin embargo, en este experimento no hubo una tendencia definida en las respuestas a los tratamientos. Experimentos anteriores han detectado un incremento en la intensidad del color (mayores valores de Chroma) y en la coloración roja (menores valores de °Hue) pero ningún efecto en la brillantez (L) en frutos de fresa cultivados con acolchado orgánico de paja en comparación con acolchado de plástico (Wang et al., 1998) lo que indica que los sistemas de cultivo pueden afectar los atributos de color del fruto. Singh et al. (2010) no encontraron efecto de la aplicación foliar de lixiviados de vermicomposta en los atributos de color del fruto, determinados con las variables L, a y b, al compararlos con aplicaciones foliares de agua, pero la incorporación de vermicomposta al suelo donde se cultiva la fresa los frutos tuvieron mayores valores de L y a en comparación con frutos producidos con fertilización inorgánica (Singh et al.; 2008). De la misma forma, Ayesha et al. (2011) no encontraron diferencias en los valores de L, Chroma y °Hue entre frutos de fresa cultivadas en suelos con diferentes estiércoles y aquellos de plantas cultivadas en suelo sin estiércol.

Concentración foliar de minerales. El análisis foliar realizado al final del ciclo productivo no mostró diferencias significativas en respuesta a los tratamientos, excepto para el manganeso (Mn) que disminuyó significativamente con los sustratos con composta (Cuadro 5). Investigaciones previas han demostrado que la incorporación de compostas al suelo no afecta el contenido de minerales en las hojas de plantas de fresa, aunque sí afecta el contenido de minerales en el suelo después del segundo año de incorporación (Hargreaves et al., 2009a; Hargreaves et al., 2009b); sin embargo, la aplicación foliar de lixiviado de las compostas o té de compostas sí logra incrementar el contenido de N, P, K y Ca en las hojas de fresa en comparación con la aplicación foliar de agua (Singh et al., 2010). Similarmente, en una comparación entre plantas de fresa cultivadas en granjas comerciales orgánicas, con al menos cinco años de certificación, y en granjas comerciales convencionales en California (Estados Unidos de América), en dos años de muestres continuos sólo se encontraron diferencias en la concentración foliar de fósforo, el cual fue significativamente mayor en las plantas cultivadas convencionalmente (Reganold et al., 2010).

Tabla 6.4 Contenido foliar de elementos minerales en plantas de fresa cultivadas en maceta con diferentes tipos de compostas.

| Compost:peat:perlite (%) | N | P | K | Fe | Mn | B |
|---------------------------|------|------|------|-------|----------------------|--------|
| 0:50:50 ^Z | 1.42 | 0.29 | 1.52 | 410.5 | 239.41b ^W | 90.36 |
| 0:50:50 | 1.25 | 0.17 | 0.99 | 522.8 | 441.91a | 118.88 |
| 25:37.5:37.5 ^Y | 1.19 | 0.48 | 1.19 | 286.4 | 55.74c | 101.69 |
| 25:37.5:37.5 ^X | 1.42 | 0.54 | 1.71 | 450.9 | 61.80c | 111.55 |
| 50:25:25 ^Y | 1.25 | 0.48 | 1.33 | 342.0 | 47.50c | 119.23 |
| 50:25:25 ^X | 2.2 | 0.63 | 2.33 | 558.0 | 71.92c | 131.65 |
| 75:12.5:12.5 ^Y | 1.25 | 0.40 | 1.62 | 267.1 | 34.66c | 83.79 |
| 50:0:50 ^Y | 1.05 | 0.45 | 1.17 | 344.2 | 42.54c | 111.92 |

^Zfertilizada con fertilizante semanalmente con 1.0 g de 12-11-18-3(N-P-K-Mg)
^YComposta elaborada a base de estiércol de ovino
^XComposta elaborada a base de estiércol de vacuno estabulado
^WValores con la misma letra dentro de la columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos en laboratorio.

El caso del manganeso es diferente. En nuestro experimento la concentración foliar de Mn disminuyó significativamente en plantas de fresa cultivadas en sustratos con composta incorporada (Cuadro 5). Resultados similares se han encontrado en frambuesa, donde el contenido foliar de Mn disminuye por la aplicación de compostas en las cañas vegetativas (primocañas) y las cañas reproductivas (floricañas) de frambuesa, mientras que el resto de los macroelementos y microelementos no se vieron afectados (Warman, 2009).

Los resultados de este experimento y los citados en este escrito nos indican que el efecto de las compostas incorporadas a los sustratos no está en la absorción de la mayoría de los minerales por la raíz de fresa. Arancon et al. (2003) y Arancon et al. (2004) proponen que el incremento en rendimiento y crecimiento de fresa cultivada con vermicomposta se debe a la actividad microbiana y a la síntesis de hormonas reguladoras del crecimiento vegetal por los microorganismos del suelo. También se ha reportado incrementos en las poblaciones microbianas y en la actividad enzimática en los sustratos con la utilización de compostas; por ejemplo, la compostas pueden ser ricas en hongos, proteasas, células y amilasas activas (Anastasi et al., 2004), así como conferir a los suelos mayor actividad en la enzima alcalina-fosfatasa (Lalande et al., 1998), deshidrogenasa y β -glucosidasa e incrementar las poblaciones bacterianas (Cunha-Queda et al., 2010). El incremento de la biomasa microbiana y de la actividad metabólica anteriormente mencionada, aunada al mejoramiento de las características físicas de los sustratos como el incremento en la capacidad de retención de agua (Moral et al., 2009) podrían estimular rutas metabólicas dentro de la planta que promuevan el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas de fresa sin tener necesariamente relación con la absorción de minerales y las cuales deberían estudiarse con más detalle.

Inocuidad de fruto. En las evaluaciones poscosecha de laboratorio realizadas a frutos, se identificó *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer*, *Colletotrichum* sp, *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp. Es importante señalar que aunque no se encontraron diferencias significativas entre especies ni entre tratamientos, *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer* tendieron a presentarse con mayor incidencia mientras que *Colletotrichum* sp, *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp tendieron a presentarse con menor incidencia. Respecto a coliformes, no se encontraron evidencias de coliformes en los frutos durante la evaluación poscosecha en el laboratorio. La composta utilizada en este experimento tuvo una etapa termofílica cuya temperatura alcanzo los 46° C y 57° C en las compostas a base de estiércol de ovino y de estiércol de vaca, respectivamente, lo cual pudo ser suficiente para eliminar estas bacterias patógenas.

6.3 Conclusiones

Las compostas demostraron tener el potencial para su utilización como material de sustrato para cultivo de fresa en maceta. Aunque se encontró diferencias entre los efectos por el origen de las compostas en este experimento, ya que las compostas a base de estiércol de ovino incrementaron de manera más efectiva el crecimiento de planta medido como la acumulación de materia seca total al final del ciclo, en general los dos tipos de compostas estudiados aquí lograron incrementar el número de frutos y el rendimiento total de planta (g.planta^{-1}). El tamaños de fruto también se vio afectado por los tratamientos, en este caso, las compostas a base de estiércol de vaca lograron los mayores diámetros de fruto. La firmeza del fruto y su contenido de sólidos solubles totales tendieron a incrementarse con la utilización de compostas como sustrato en comparación de los sustratos sin compostas. En el caso de los SST del fruto, la composta a base de estiércol de ovino tuvieron los mayores valores al compararlos con los sustratos sin compostas.

Al hacer una comparación entre los sustratos a base de composta y aquellos a base de peat, es evidente que las compostas pueden sustituir al peat en la producción de fresa en maceta, ya que las plantas en sustratos con compostas tienen una mayor crecimiento (acumulación de materia seca total), un mayor número de frutos y un mayor rendimiento por plantas, mientras que la calidad de fruto no es afectada por el tipo de sustrato.

En este experimento se pudo observar que las compostas no incrementan la concentración de minerales en las hojas en comparación con sustratos sin compostas, por lo que el efecto de las compostas en el crecimiento y rendimiento de fresa debe estar relacionado con rutas metabólicas diferentes a la absorción y asimilación de minerales, es conveniente estudiar esos posibles mecanismos.

6.4 Referencias

Hancock, J.F., Strawberries, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, 1999, 237 p.

Anastasi, A.; Varese, G.C.; Voyron, S.; Scannerini, S.; Marchisio, V.F., "Characterization of fungal biodiversity in compost and vermicompost", *Compost Science & Utilization*, No. 12, Año 2004, pp.185-191.

Arancon, N.Q.; Edwards, C.A.; Bierman, P.; Metzger, J.D.; Lee, S.; Welch, C., "Effects of vermicompost on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries", *Pedobiología*, No. 47, Año 2003, pp. 731-735.

Arancon, N.Q.; Edwards, C.A.; Bierman, P.; Welch, C.; Metzger, J.D., "Influence of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields", *Bioresource Technology*, No. 93, Año 2004, pp.145-153.

Ayesha, R.; Fatima, N.; Ruqayya, M.; Qureshi K.M.; Hafiz I.A.; Khan, K.S.; Kamal, A., "Influence of different growth media on the fruit quality and reproductive growth parameters of strawberry (*Fragaria ananassa*)", *Journal of Medicinal Plants Research*, No. 5, Año 2011, pp. 6224-6232.

Cunha-Queda, C.; Alvarenga, P.; Nobre, A.; De Varnnes, A., "Effect of municipal solid waste compost on mine soils as evaluated by chemical, biological and biochemical properties of soil", *Compost Science & Utilization*, No. 18, Año 2010, pp. 89-96.

Gregorich, E.G.; Carter, M.R.; Angers, D.A.; Monreal, C.M.; Ellert, B.H., "Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils", *Canadian Journal of Soil Sciences*, No. 74, Año 1994, pp. 367-385.

Hargreaves, J.C.; Adl, M.S.; Warman, P.R.; "Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects" *Journal of Sciences and Food Agriculture*, No. 89, Año 2009a, pp. 390-397.

Hargreaves, J.C.; Adl, M.S.; Warman, P.R., "The effects of municipal solid waste compost and compost tea on mineral element uptake and fruit quality of strawberries", *Compost Science & Utilization*, No. 17, Año 2009b, pp. 85-94.

Lalande, R.; Gagnon, B.; Simard, R.R.; "Microbial biomass C and alkaline phosphatase activity in two compost amendment soils", *Canadian Journal of Soil Sciences*, No. 78, Año 1998 pp. 581-587.

Lanzi, A.; Incrocci, L.; Pulizzi, R.; Pardossi, A.; Marzalletti, P., "Evaluation of some peat-alternative substrates in horticultural crops", *Acta Horticulture*, No. 807, Año 2009, pp.553-558.

Martínez-Bolaños, M.; Nieto-Angel, D.; Téliz-Ortiz, D.; Rodríguez-Alcazar, J.; Martínez-Damian, M.T.; Vaquera-Huerta, H.; Carrillo-Mendoza, O., “Comparación Cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses”, *Revista Chapingo Serie Horticultura*, No. 14, Año 2008, pp. 113-119.

MacNaeidhe, F.S., “Effect of different compost types on the yield of strawberry cv Elsanta in polythene tunnels”, *Acta Horticulture*, No. 439, Año 1997, pp. 717-724.

Moral, R.; Paredes, C.; Bustamante, M.A.; Marhuenda-Egea, F.; Bernal, M.P., “Utilization of manure composts by high value crops: safety and environmental challenges”, *Bioresource Technology*, No. 100, Año 2009, pp. 5454-5460.

Paranjpe, A.V.; Cantliffe, D.J.; Lamb, E.M.; Stoffella, P.J.; Powell, C.A., “Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation”, *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, No. 116, Año 2003, pp. 98-105.

Paranjpe, A.V.; Cantliffe, D.J.; Stoffella, P.J.; Lamb, E.M.; Powell, C.A., “Relationship of plant density to fruit yield of ‘Sweet Charlie’ strawberry grown in a pine bark soilless medium in a high-roof passively ventilated greenhouse”, *Scientia Horticulturae*, No. 115, Año 2008, pp.117-123.

Raviv, M., “Production of high-quality composts for horticultural purposes: a mini-review”, *HortTechnology*, No. 15, Año 2005, pp. 52-57.

Rivière, L.M.; Morel, P.; Michel, J.C., Charpentier, S., “Growing media in french horticulture”, *Acta Horticulture*, No. 779, Año. 2008, pp. 33-38.

Singh, R.; Sharma, R.R.; Kumar, S.; Gupta, R.K.; Patil, R.T., “Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.)”, *Bioresource Technology*, No. 99, Año 2008, pp. 8507-8511.

Singh, R.; Gupta, R.K.; Patil, R.T.; Sharma, R.R.; Asrey, R.; Kumar, A.; Jangra, K.K., “Sequential foliar applications of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.)”, *Scientia Horticulturae*, No. 124, Año 2010, pp. 34-39.

Wang, S.Y.; Galletta, G.J.; Camp, M.J.; Kasperbauer, M.J., “Mulch types affect fruit quality and composition of two strawberry genotypes”, *HortScience*, No. 33, Año 1998, pp. 636-640.

Wang, S.Y.; Lin, S.S., “Compost as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry”, *Journal of Plant Nutrition*, No. 25, Año 2002, pp. 2243-2259.

Warman, P.R., “Soil and plant responses to applications of municipal solid waste compost and fertilizer to Willamette raspberries”, *International Journal of Fruit Science*, No. 9, Año 2009, pp. 35-45.

Zaller, J.G., “Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties”, *Scientia Horticulturae*, No. 112, Año 2007, pp. 191-199.

FAOSTAT, (2013), “Producción Mundial de fresa”, Último acceso: Febrero de 2014, <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>.

Reganold, J.P.; Andrews, P.K.; Reeve, J.R.; Carpenter-Boggs, L.; Schadt, C.W.; Alldredge, J.R.; Ross, C.F.; Davies, N.M.; Zhou, J., (2010), “Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems”, *PLoS ONE* 5(9): e12346. doi:10.1371/journal.pone.0012346.

SIAP - Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera, “Producción Nacional de Fresa 2012”, Último Acceso: febrero de 2014, <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.