



<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2023.03.02>

Versión Español

## Fotosíntesis, crecimiento, y rendimiento en fresa con composta de borrego y turba

Guillermo Calderón-Zavala<sup>1</sup>; Reyes López-García<sup>1</sup>; Horacio E. Alvarado-Raya<sup>2\*</sup>; David Jaen-Contreras<sup>1</sup>; Humberto Vaquera-Huerta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, PREGEP-Fruticultura, Campus Montecillo. México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM, Chapingo, México.

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, PSEI-Estadística, Campus Montecillo. México.

### Historial del artículo:

Recibido: Junio 2, 2022

Aceptado: Diciembre 15, 2022

\*Autor de correspondencia:

halvarador@chapingo.mx

### Resumen

La composta permite la manipulación de residuos orgánicos y disminuye los costos de producción de los sistemas hortícolas de baja escala. El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de la adición de composta a los sustratos de cultivo sobre el crecimiento, rendimiento y fisiología de tres cultivares de fresa. Los cultivares mexicanos 'Jacona' y 'Zamorana' y el comercial 'Festival' se cultivaron dentro de un invernadero de vidrio en cualquiera de dos mezclas de sustrato: turba+perlita (1:1; v/v) o composta+turba+perlita (2:1:1; v/v/v). La composta se elaboró con estiércol de borrego y se utilizó la solución Steiner como fuente de minerales. Periódicamente, se realizaron lecturas de fotosíntesis, conductancia estomática, tasa de transpiración y análisis de desarrollo de suelo-planta (SPAD). Asimismo, se determinó seis veces el peso seco de órganos. La adición de composta causó menor peso seco total de planta durante la fructificación y menores valores SPAD durante el experimento; sin embargo, la composta afectó la fotosíntesis solamente antes de la fructificación en comparación con las plantas que crecieron sin composta. Aparentemente, la removilización de materia seca durante la época de fructificación podría explicar la falta de efecto de la composta en el rendimiento total de la planta. Como conclusión, la composta de borrego afectó las unidades SPAD y la materia seca total de la planta durante la fructificación de fresa, pero el rendimiento total de la planta no se alteró, lo cual se explica, aparentemente, por una removilización de materia seca en la planta hacia el fruto y desde las raíces y hojas.

► **Palabras clave:** *Fragaria x ananassa*, conductancia estomática, fotosíntesis, partición de materia seca, unidades SPAD.

### Introducción

La población seguirá creciendo mientras que el suelo arable *per-capita* posiblemente se reduzca debido a problemas ambientales, sociales o económicos. No solo se ha proyectado que la población mundial llegará a 9.7 millones de personas en 2050, dos millones más que en 2019, sino también la expectativa de vida incrementará de 72.6 años en 2019 a 77.1 años en 2050 (UN [United Nations], 2019). Adicionalmente, aunque el suelo arable incrementará, principalmente en países en desarrollo, este incremento estará por debajo de la curva de crecimiento poblacional, dando como resultado una disminución neta

del suelo arable mundial *per-capita* de alrededor de 0.23 a aproximadamente 0.19 ha por persona en 2050, en menor cantidad en países en desarrollo que en aquellos desarrollados (Bruinsma, 2009). Este escenario muestra un futuro en el cual la producción de alimentos deberá incrementar, pero estará condicionada por la exigencia del consumidor por alimentos de calidad, inocuidad alimentaria y sustentabilidad ambiental (Godfray et al., 2010). Además, si se considera un incremento en la urbanización de alrededor de 40 – 67 % en relación con el año base de 2013, como lo menciona Li, et al. (2019), y también una reducción en la tasa de la población rural a urbana de 0.81 en 2018 a 0.32 en 2050, como es estimado por la FAO (Food and

Agriculture Organization, 2020), la horticultura urbana y periurbana deberá alcanzar los niveles de seguridad alimentaria para poblaciones en crecimiento.

La horticultura urbana ha sido parte de los paisajes ciudadanos por mucho tiempo, sin embargo, esta actividad ha sido analizada como parte de la seguridad y sustentabilidad alimentaria en esas áreas en décadas recientes. Godfray et al. (2010) señaló tres grandes retos que enfrenta el mundo en relación con la producción y consumo de alimentos: uno será la necesidad de alimentar a más gente, otro es hacerlo de manera social y ambientalmente sustentable, y la tercera, es tener alimentos disponibles para aquellos con menos recursos. Estos autores también propusieron cerrar la brecha de rendimiento, no solo entre regiones, sino entre cultivos, cambiando hábitos alimentarios, reduciendo desechos alimentarios y expandiendo la acuicultura como algunas opciones para alcanzar la seguridad alimentaria. La horticultura urbana y periurbana en todas las variantes mencionadas por Monk et al. (2014) y Samangooei et al. (2016) son solo ejemplos de las opciones que pueden ayudar a conseguir estos objetivos para alcanzar la seguridad alimentaria en ciudades en desarrollo en el mundo. Sin embargo, debe realizarse mucho trabajo de investigación para configurar la parcela más eficiente para producir alimentos en las ciudades de manera sustentable.

La horticultura urbana deberá satisfacer criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos para llegar a ser una opción para producir alimentos. Samangooei et al. (2016) compararon sistemas con suelo y sin suelo para la horticultura urbana. Considerando varios problemas para el desarrollo de factores sociales, económicos y ambientales, los autores demostraron que, aunque la horticultura sin suelo es más productiva por metro cuadrado, al parecer, los sistemas establecidos con suelo tienen más beneficios ambientales y sociales, también son más accesibles que los sistemas sin suelo. En los sistemas de producción alimentaria urbana, como aquellos mencionados por los autores, cultivos con raíces superficiales como la fresa y sustratos con composta, pueden incrementar la sustentabilidad de la producción alimentaria urbana. Por otra parte, el uso de composta como sustrato de crecimiento incrementa el valor ambiental en las ciudades con horticultura en suelo, ya que permite reciclar la materia orgánica en casa o en ciudades donde sería una fuente de contaminación (Jara-Samaniego et al., 2017; Samangooei et al., 2016; Tavera et al., 2014) y también puede reducir el costo ya incluido en algunos sistemas de producción para contribuir al desarrollo sustentable de áreas urbanas y periurbanas (Alvarado-Raya et al., 2016; Jara Samaniero et al., 2017; Tavera et al., 2014). Adicionalmente, la planta de fresa es capaz de crecer en pequeñas capas de sustrato, permitiendo el uso de un sistema de iluminación apropiado para los techos, edificios e inclusive para cultivos verticales (Wortman et al., 2016); sin embargo, debido a que la diferencia en las

características físicas, químicas y biológicas de la composta depende de la materia prima y el proceso de composteo, también por la diferencia en respuesta de los cultivares al sistema de crecimiento, debe realizarse mucha investigación antes de seleccionar el sistema apropiado con composta como sustrato para la producción de fresa (Wortman et al., 2016).

La respuesta de la planta de fresa a los sustratos de composta puede variar. Algunos autores han encontrado incrementos positivos en el rendimiento y crecimiento de la planta de fresa al utilizar composta como suplemento del suelo (Shehata et al., 2011; Wang y Lin, 2002); otros no han encontrado diferencias estadísticas en el rendimiento de la fresa al utilizar desechos orgánicos como suplemento del suelo, sea o no composta (Balci et al., 2019) tampoco al comparar sistemas orgánicos con sistemas convencionales usando hidroponía vertical (Wortman et al., 2016). Otros autores han encontrado que el comportamiento de la fresa depende de las características del sustrato de crecimiento (físicas, químicas y biológicas) (Lloyd, et al., 2016) o el tipo de composta y concentración en el sustrato (Alvarado-Raya et al., 2014). Referente a los mecanismos o explicaciones de los efectos de la composta, también hay distintas hipótesis en diferentes estudios, algunos de ellos enfatizan el efecto en las características físicas, químicas y biológicas del sustrato (Lloyd et al., 2016), otros han señalado los beneficios físicos de los promotores del crecimiento en la rizosfera (Jindo et al., 2012) o en el contenido de la clorofila en la planta, actividad fotosintética y actividad enzimática (nitrato reductasa) (Naderi y Ghadiri, 2013; Wang y Lin, 2002).

Basándose en el potencial de la composta en la producción sustentable de fresa para la seguridad alimentaria en áreas urbanas y periurbanas, los diferentes efectos de la composta en el rendimiento y crecimiento de la fresa, y la necesidad de información referente a la fisiología de la fresa como respuesta al sustrato con composta, esta investigación fue realizada para analizar los efectos de agregar composta a sustratos sin suelo en el crecimiento, rendimiento y fisiología de dos cultivares de fresa bajo la hipótesis de que, agregar composta al sustrato, incrementa la fotosíntesis y por lo tanto el crecimiento y rendimiento de la fresa.

## Materiales y métodos

### Organización experimental

En esta investigación se utilizaron plantas de los cultivares 'Jacona' y 'Zamorana' del programa de genética del Colegio de Postgraduados (CP) en la zona central de México y plantas de la variedad comercial 'Festival' (Universidad de Florida). Se obtuvieron plántulas de raíz desnuda de los viveros del CP y enfriadas a 1.0 °C por 98 d antes de plantarlas el primero de marzo de 2013 en bolsas negras de plástico (3.0 kg) con una de las dos mezclas de

sustrato: turba+perlita (1:1; v/v) o composta+turba+perlita (2:1:1; v/v/v). La composta se elaboró con estiércol de breggo. La conductividad eléctrica y el pH de los sustratos fue de entre 0.46 a 0.67 dS·m<sup>-1</sup>, 3.9 a 4.2 para el sustrato sin composta, y 1.56 a 1.84 dS·m<sup>-1</sup>, 7.1 a 7.4 para el sustrato con composta. Las bolsas se guardaron adentro de un invernadero de vidrio (19° 27' North; 98° 54' West; 2 250 msnm) y las plantas crecieron de marzo-2013 a abril-2014 con una solución Steiner como fuente mineral con un EC de 0.5 dS·m<sup>-1</sup>, pH 5.0-5.5 y basado en CaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, fosfato monopotásico (MKP), MgSO<sub>4</sub>, KSO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y un combo comercial de micronutrientes.

En este experimento, se consideraron seis tratamientos resultantes de la combinación de la mezcla del sustrato y cultivares. Cada tratamiento tuvo 20 repeticiones y una planta/bolsa fue una unidad experimental. Los tratamientos fueron distribuidos dentro del invernadero con un diseño completamente al azar, distribuidos con un diseño split-plot considerando al sustrato como parcela principal y el cultivar como subparcela. El registro de datos inició tres meses después de haber sembrado todos los tratamientos. Se realizaron cinco lecturas con un sistema portátil de medición de fotosíntesis LI-6400 (LI-COR; Lincoln, NE), las lecturas de eficiencia fotosintética, conductividad estomática y tasa de transpiración se realizaron del 5 de junio, 2013 al 28 de marzo, 2014 (10:00 h a 13:00 h) utilizando el foliolo terminal de una hoja saludable y completamente extendida. La eficiencia del uso del agua también fue calculada. El contenido de clorofila fue evaluado seis veces del 11 de junio, 2013 al 9 de abril, 2014 (10:00 am a 12:00 pm) utilizando un medidor Minolta SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japón). Se utilizaron tres hojas jóvenes completas por planta (nueve folíolos) para cada lectura de clorofila.

El crecimiento de la planta fue analizada al determinar la partición de la materia en cada uno de los cuatro órganos

de la planta: raíz, corona, hoja y flor-fruto. Seis muestras destructivas se realizaron del 17 de junio, 2013 al 9 de abril, 2014 para la raíz, corona y estructuras de las hojas; las estructuras de flor+fruto fueron analizadas cuatro veces durante el experimento (del 4 de noviembre, 2013 al 9 de abril, 2014). Las plantas fueron recolectadas, disectadas y cada estructura se desecó por separado a 70 °C para alcanzar un peso seco constante. Para determinar el rendimiento, los frutos fueron recolectados semanalmente en la etapa de madurez plena (Rahman, et al., 2016) del 3 de octubre, 2013 al 23 de marzo, 2014. El peso de los frutos fue realizado en una balanza digital.

### Análisis de datos

El análisis de datos se realizó con SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc.; Cary, NC) utilizando el procedimiento mixto con el modelo split-plot tomando al sustrato como parcela principal y el cultivar como subparcela. Cada vez que se detectó significancia estadística en un factor para cualquier variable, se realizó una prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la comparación de medias.

### Resultados

Los experimentos de campo y la recolección de datos se realizaron durante 13 meses después de haber sembrado el primero de marzo, 2013. Durante este periodo, las plantas estuvieron en crecimiento vegetativo durante primavera y verano, tuvieron una inducción floral completa en otoño (aproximadamente en septiembre) y una temporada de fructificación otoño-invierno-primavera.

### Efecto del sustrato de cultivo en el desarrollo de la planta

El desarrollo de las plantas de fresa se evaluó como el incremento del peso seco total, éste no se vio afectado por el sustrato durante los primeros ocho meses después de

Cuadro 1. Peso seco total mensual de las plantas de fresa de tres cultivares sembrados en dos mezclas de sustrato.

	Peso seco total de la planta (g)					
	Junio-17	Ago-10	Nov-4	Dic-26	Feb-13	Abr-9
	<b>Media (M)</b>					
Turba:perlita (1:1)	10.5±1.0 <sup>z</sup>	23.1±2.0	41.7±2.6	50.0±1.9 <sup>y</sup>	52.3±1.4 <sup>a</sup>	53.4±1.7 <sup>a</sup>
Composta:turba:perlita (1:1:1)	9.9±0.8	18.6±1.2	46.8±3.1	39.8±3.1 <sup>b</sup>	46.3±1.3 <sup>b</sup>	46.8±1.7 <sup>b</sup>
Significancia	ns <sup>x</sup>	ns	ns	*	**	**
	<b>Cultivar (C)</b>					
Festival	10.1±0.9	20.1±3.1	40.3±2.4 <sup>b</sup>	40.7±4.5 <sup>b</sup>	47.2±2.6 <sup>b</sup>	48.9±3.2 <sup>b</sup>
Jacona	9.1±1.0	19.5±2.2	42.2±4.7 <sup>b</sup>	42.1±4.7 <sup>b</sup>	48.1±0.9 <sup>b</sup>	47.3±1.5 <sup>b</sup>
Zamorana	11.5±1.2	23.0±0.7	50.1±2.2 <sup>a</sup>	52.0±2.1 <sup>a</sup>	52.6±1.7 <sup>a</sup>	54.1±1.3 <sup>a</sup>
Significancia	ns	ns	*	*	*	*
M x C	ns	ns	*	ns	*	***

<sup>z</sup>Los valores son la media ± el error estándar. <sup>y</sup>Medias con la misma letra en la columna y factor no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05). <sup>x</sup>ns: No significativo; \*Significativo a 0.05; \*\*Significativo a 0.001; \*\*\*Significativo a 0.0001.

la siembra. Las diferencias fueron evidentes hasta el 26 de diciembre del 2013, casi nueve meses después de la siembra, y de ahí en adelante, las plantas sembradas en sustrato sin composta tuvieron los valores más altos de materia seca en comparación con las plantas sembradas en sustrato con composta (Cuadro 1). Basándose en la evaluación periódica de la acumulación de materia seca por estructura de planta (Figura 1), fue evidente que solo el peso seco de la raíz fue afectado consistentemente por el sustrato durante la temporada de desarrollo, ya que las plantas que crecieron sin composta alcanzaron estadísticamente más peso seco en la raíz que las plantas que se desarrollaron con composta (Figura 1G)

El peso seco de la hoja fue influenciado por el sustrato del cultivo, únicamente después de que el fruto comenzó a crecer en la planta. En este caso, las hojas de las plantas cultivadas en sustrato con composta tuvieron menos peso seco que aquellas en sustrato sin composta. (Figura 1C). También fue evidente la reducción del peso seco en raíces, corona y hojas después de la fructificación de las plantas, tal reducción de la materia seca se presentó en todos los tratamientos y estructuras de las plantas, pero con mayor intensidad en las raíces de las plantas cultivadas en sustrato sin composta y en las hojas de las plantas que crecieron con composta.

#### Efecto del sustrato de cultivo en los valores SPAD y la fisiología de la hoja

Independientemente del sustrato de crecimiento, los valores del análisis de desarrollo suelo-planta (SPAD) incrementaron constantemente de junio 2013 a febrero 2014. En lo sucesivo, al final del experimento, los valores se emparejaron (Cuadro 2). También fue evidente que los valores SPAD fueron consistentemente más altos en las hojas de las plantas cultivadas sin composta que en aquellos cultivados en composta. Diferencias en la tasa fotosintética neta fueron detectados únicamente en agosto y octubre 2013, los cuales fueron cinco y siete meses después de la siembra y previo o simultáneamente a la inducción floral. Durante estas fechas, las plantas sin composta tuvieron la tasa fotosintética más alta (Figura 2A).

La conductividad estomática no fue afectada por el sustrato de cultivo durante el experimento, excepto al inicio de la fructificación (octubre 2013) cuando se encontraron los valores más altos en las plantas sembradas en sustrato sin composta (Figura 2C). Al observar todo el periodo de crecimiento, la conductividad estomática incrementó durante la inducción floral y al comienzo de la fructificación. Por lo tanto, dicha variable se redujo hasta quedar ligeramente por encima de los valores iniciales sin el efecto de la composta. La tasa de transpiración no fue afectada por el sustrato de crecimiento, sin embargo, esta variable tuvo variaciones significativas durante el periodo de crecimiento (Figura 2E). La transpiración se mantuvo constante hasta

finales de octubre de 2013, que es a mediados de otoño en la región central de México y coincidió con el inicio de la fructificación en este experimento; de aquí en adelante, la variable disminuyó significativamente en enero 2014, que es a mediados de invierno y de la temporada de fructificación, para aumentar nuevamente a finales de marzo 2014 o al inicio de la primavera.

Como resultado del balance entre la eficiencia fotosintética y transpiración neta, no hubo diferencia en la eficacia del uso instantáneo del agua ( $WUE_{ins}$ ) entre plantas cultivadas con o sin composta a lo largo del experimento (Cuadro 3); sin embargo, al comparar las fechas de muestreo,  $WUE_{ins}$  presentó valores más altos al final de enero 2014 (a mediados de invierno; a mediados de la fructificación) y al inicio de agosto 2013 (inducción floral), los valores más bajos se encontraron tres meses después de la siembra (junio 2013), la cual fue una temporada de crecimiento vegetativo muy activa.

#### Efecto del sustrato en el rendimiento

Aunque el peso del fruto fue significativamente mayor en plantas creciendo en sustrato sin composta, agregar composta al sustrato tampoco tuvo efecto en el número de frutos por planta ni en el rendimiento total de la planta (Cuadro 4). Las variaciones de octubre 2013 a marzo 2014 en el peso del fruto se muestran en la Figura 3C. Hubo evidencia del incremento de ambas variables en enero y febrero. También fue muy notable la variación en el tamaño del fruto durante el periodo de fructificación en las plantas cultivadas sin composta que, en las plantas cultivadas con composta, mientras que el rendimiento fue casi igual en ambos sustratos, excepto en los dos meses de fructificación. El peso del fruto fue afectado significativamente por el sustrato solo a mediados de la temporada de fructificación (enero y febrero) en donde el rendimiento más alto y el número de frutos se registró por planta; en este caso, el sustrato sin composta dio como resultado frutos de mayor peso.

#### Efecto del sustrato en el rendimiento

Aunque el peso del fruto fue significativamente mayor en plantas creciendo en sustrato sin composta, agregar composta al sustrato tampoco tuvo efecto en el número de frutos por planta ni en el rendimiento total de la planta (Cuadro 4). Las variaciones de octubre 2013 a marzo 2014 en el peso del fruto se muestran en la Figura 3C. Hubo evidencia del incremento de ambas variables en enero y febrero. También fue muy notable la variación en el tamaño del fruto durante el periodo de fructificación en las plantas cultivadas sin composta que, en las plantas cultivadas con composta, mientras que el rendimiento fue casi igual en ambos sustratos, excepto en los dos meses de fructificación. El peso del fruto fue afectado significativamente por el sustrato solo a mediados de la temporada de fructificación (enero y febrero) en donde el rendimiento

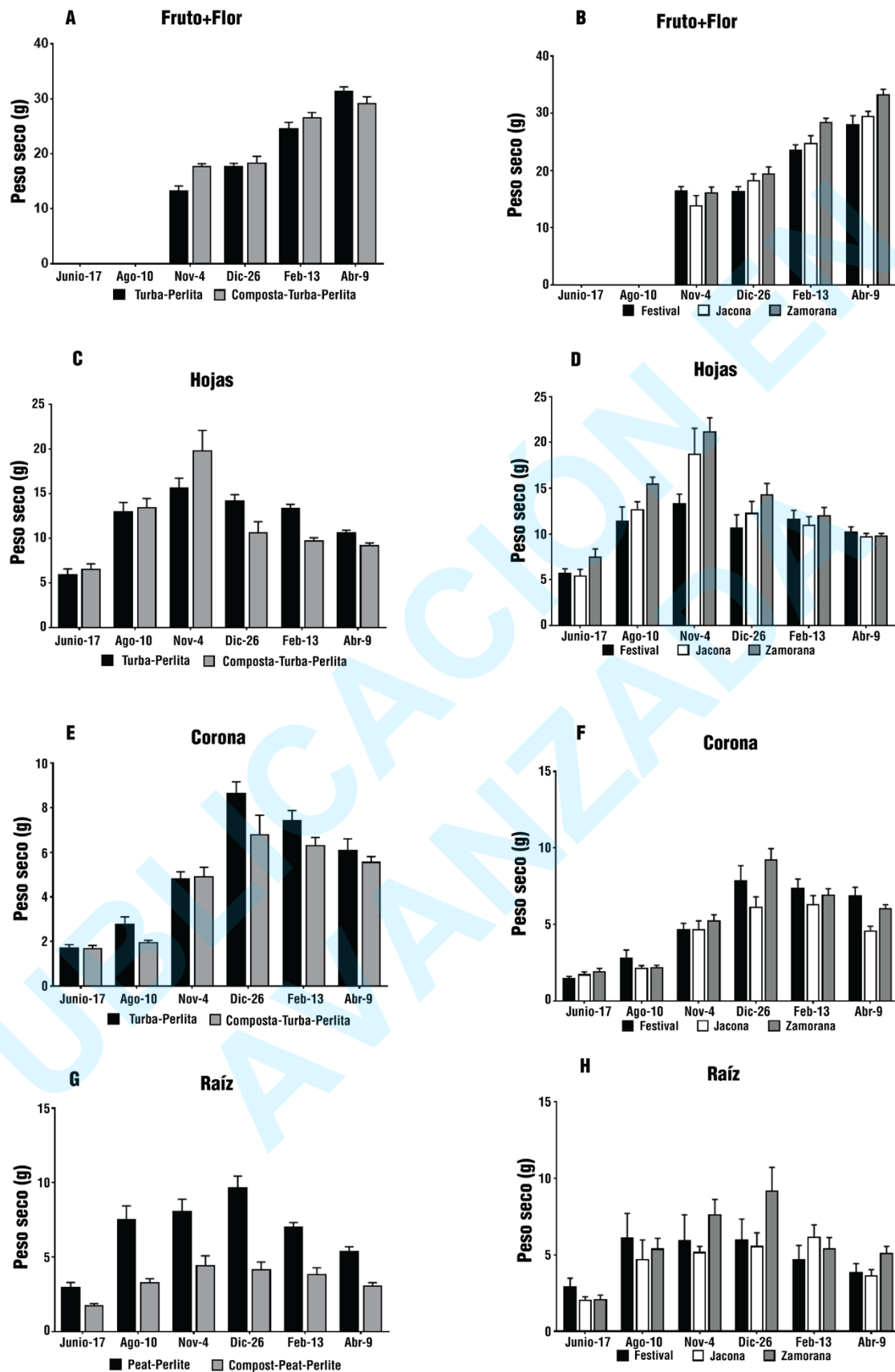


Figura 1. Acumulación periódica de peso seco en los órganos vegetales de tres cultivares de fresa (B, D, F, H) sembrados en macetas con dos mezclas de sustrato (A, C, E, G). las barras de error, son errores estándar.

Cuadro 2. Valores SPAD periódicos para tres cultivares de fresa sembrados en dos mezclas de sustrato.

	Valores SPAD					
	Junio-11	Ago-6	Oct-10	Dic-26	Feb-10	Abr-9
<b>Media (M)</b>						
Turba:perlita	38.8±0.2a	42.3±0.2a	48.3±0.2a	50.5±0.2a	53.4±0.2a	47.8±0.2a
Composta:turba:perlita	34.7±0.3b	36.6±0.2b	38.4±0.3b	43.4±0.4b	46.6±0.3b	44.7±0.2b
Significancia	*** <sup>a</sup>	***	***	***	***	***
<b>Cultivar (C)</b>						
Festival	37.6±0.2a	39.1±0.5b	43.9±0.7	47.2±0.6	51.0±0.4a	46.2±0.3b
Jacona	36.5±0.4b	39.3±0.4ab	43.0±0.8	46.2±0.6	49.8±0.4b	47.0±0.4a
Zamorana	36.2±0.6b	40.0±0.5a	43.2±0.8	47.3±0.5	49.2±0.7b	45.6±0.3b
Significancia	*	*	ns	ns	***	***
M x C	***	ns	ns	*	***	ns

Valores son la media ± el error estándar. Medias con la misma letra en la columna y factor no son estadísticamente diferentes (Tukey=0.05). ns: No-significativo; \*Significativo a 0.05; \*\*Significativo a 0.001; \*\*\*Significativo a 0.0001.

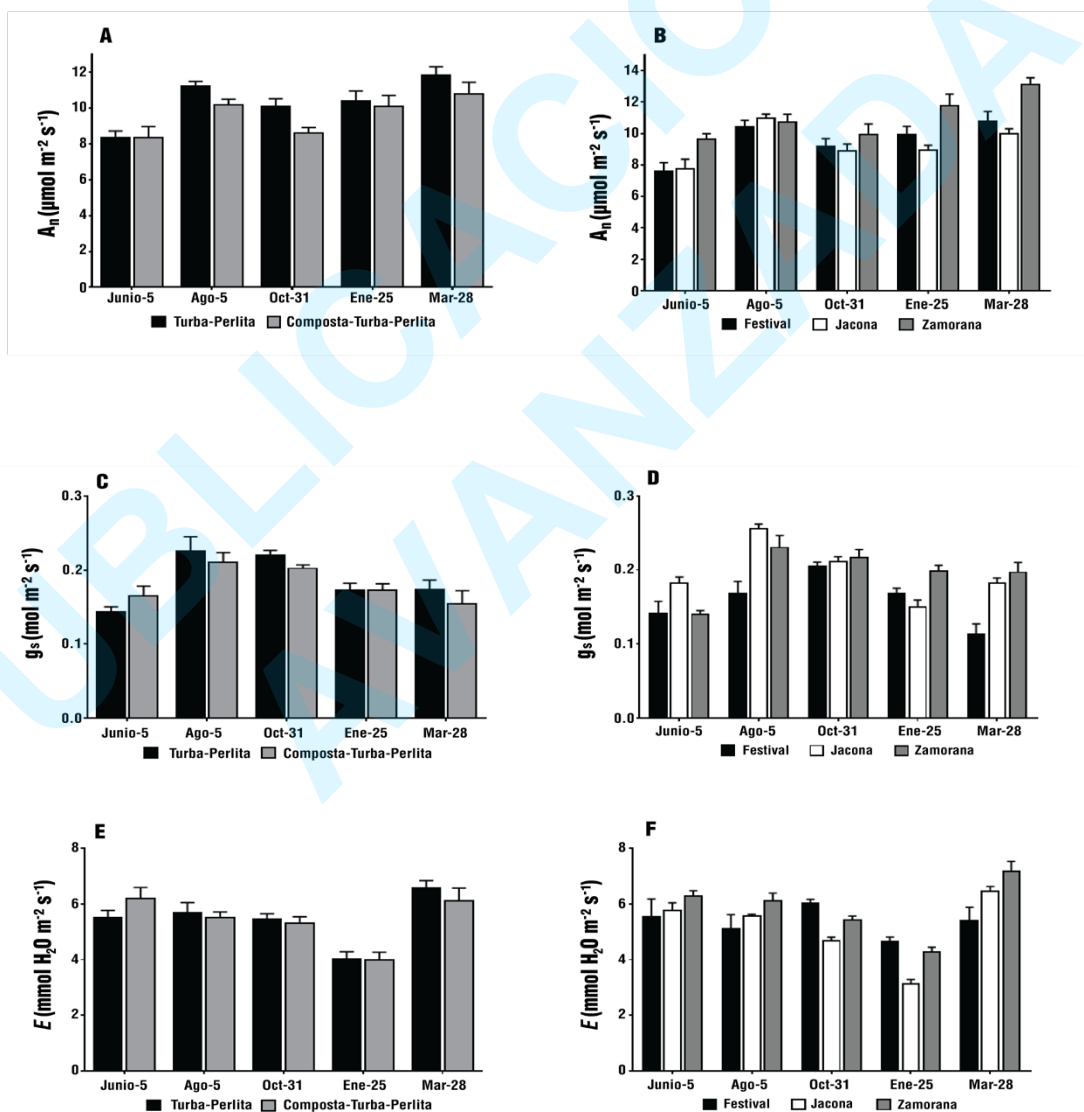


Figura 2. Intercambio gaseoso y conductividad estomática para tres cultivares (B, D, F) sembrados en macetas con dos mezclas de sustrato (A, C, E). Barras de error son errores estándar.

más alto y el número de frutos se registró por planta; en este caso, el sustrato sin composta dio como resultado frutos de mayor peso.

### Desarrollo de la planta entre cultivares

Las diferencias en el desarrollo entre cultivares fueron evidentes únicamente después de los ocho meses de siembra, cuando el cultivar Zamorana tuvo mayor materia seca total que los otros dos cultivares durante el resto del periodo de desarrollo (Cuadro 1). Adicionalmente, cuando se observaron diferencias entre cultivares en el peso seco evaluado para cualquier estructura de la planta, 'Zamorana' tuvo mayor peso seco que los otros dos cultivares, solo en algunas ocasiones 'Festival' igualó este cultivar (Figuras 1B, 1D, 1F y 1H). Las diferencias en el peso seco de cada estructura de la planta entre cultivares dependió de la etapa fenológica, en la cual se encontraron diferencias en las hojas únicamente antes de la fructificación (Figura 1D) y las diferencias encontradas en las raíces únicamente durante la fructificación (Figura 1H). En referencia a las diferencias en el peso seco de la corona entre cultivares, estas se encontraron en dos periodos, uno antes de la inducción floral y otra durante la fructificación (Figura 1F).

### Valores SPAD y fisiología de la hoja entre cultivares

Los valores SPAD incrementaron consistentemente en tres cultivares de junio 2013 a febrero 2014 y posteriormente disminuyeron en abril 2014. No hubo un cultivar con valores SPAD consistentemente más altos durante el experimento. Sin embargo, 'Festival' y 'Zamorana' obtuvieron valores más altos antes de la inducción floral y 'Festival' y 'Jacona' fueron similares en estas variables al final del experimento (Cuadro 2).

rante esta etapa de gran demanda de la planta (Cuadro 1). La conductividad eléctrica de los sustratos durante este experimento se dio en niveles adecuados para el crecimiento de la fresa (0.46 a 0.67 y 1.56 a 1.84  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  para sustrato sin composta y con composta respectivamente); sin embargo, el pH fue alcalino para el sustrato con composta (7.1 a 7.4), comparado con el pH del sustrato de turba+perlita (3.9 a 4.2). Kaya et al. (2002) encontraron una disminución en la acumulación de materia seca y rendimiento de fruto en la fresa a un pH alto (8.5) en comparación con un pH bajo (5.5). Un pH alto en el sustrato también se ha relacionado con unidades SPAD bajas en la fresa (Roosta, 2014). En el presente trabajo los valores más bajos de las unidades SPAD y la acumulación de materia seca total más baja en la planta durante el periodo de fructificación en las plantas cultivadas en composta podría deberse a un pH mayor a 7.0 (Cuadros 1 y 2).

Aunque las unidades SPAD fueron más bajas en las plantas cultivadas en composta en el experimento, el rendimiento fue afectado únicamente al inicio de la temporada y el tamaño del fruto a mediados de la temporada; sin embargo, el rendimiento total de la planta no se vio afectado (Figuras 3A, 3C y Cuadro 4). Básicamente, las tasas fotosintéticas no fueron afectadas por los tratamientos, excepto en agosto (previo a la inducción floral) y octubre (floración) cuando las plantas cultivadas sin composta tuvieron mayor actividad fotosintética. La conductividad estomática, la tasa de transpiración y como consecuencia, la eficacia en el uso del agua, no se vio afectada en los tratamientos durante la fructificación (Figuras 2A, 2C, 2E y Cuadro 3).

Aunque se esperaba una actividad fotosintética mayor durante la temporada de fructificación en las plantas cultivadas sin composta, ya que acumularon más materia seca

Cuadro 3. Eficacia instantánea del uso del agua para tres cultivares de fresa sembrados en dos mezclas de sustrato.

	WUE <sub>ins</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )				
	Junio-5	Ago-5	Oct-31	Enero-25	Marzo-28
	<b>Media (M)</b>				
Turba:perlita (1:1)	1.61±0.12 <sup>z</sup>	2.13±0.17	1.86±0.08	2.77±0.14	1.84±0.07
Composta:turba:perlita (1:1:1)	1.39±0.13	1.93±0.09	1.65±0.10	2.66±0.13	1.86±0.12
Significancia	ns <sup>x</sup>	ns	ns	ns	Ns
	<b>Cultivar (C)</b>				
Festival	1.63±0.24	2.26±0.27	1.52±0.07b <sup>y</sup>	2.40±0.20b	2.13±0.10a
Jacona	1.33±0.12	1.99±0.06	1.94±0.13a	3.01±0.08a	1.56±0.03c
Zamorana	1.54±0.02	1.84±0.06	1.81±0.09ab	2.74±0.08ab	1.85±0.05b
Significancia	ns	ns	*	*	**
M x C	ns	ns	ns	ns	ns

Valores son la media ± error estándar. Medias con la misma letra en la columna y factor no son estadísticamente diferentes (Tukey=0.05). ns: No-significativo; \*Significativo a 0.05; \*\*Significativo a 0.001; \*\*\*Significativo a 0.0001.

Se detectaron diferencias en la fotosíntesis, únicamente en junio 2013 (antes de la inducción floral) y en enero y marzo 2014 (punto máximo de la temporada de fructificación). 'Zamorana' siempre registró las tasas más altas de fotosíntesis neta en estas fechas (Figura 2B). La conductividad estomática también fue más alta en los cultivares mexicanos 'Zamorana' y 'Jacona' con solo una fecha sin diferencias estadísticas entre cultivares, que fue al inicio de la fructificación (Figura 2D).

La tasa de transpiración y  $WUE_{ins}$  mostraron tendencias similares a aquellas descritas en las mezclas de sustratos, por lo tanto, la transpiración disminuyó en todos los cultivares a mediados del invierno y después registraron un incremento en esta variable a inicios de la primavera lo que corresponde a un comportamiento inverso en  $WUE_{ins}$  (Figura 2E, Cuadro 3). Diferencias en la tasa de transpiración y  $WUE_{ins}$  entre cultivares se detectaron únicamente después de que inició la fructificación; aquí, 'Festival' tuvo las tasas más altas en octubre 2013 y enero 2014, 'Zamorana' tuvo la transpiración más alta en marzo 2014 (Figura 2E). como resultado, 'Jacona' registró valores más altos de  $WUE_{ins}$  que 'Festival' durante la primera mitad de la fructificación, con una relación invertida al final del experimento (Cuadro 3).

### Rendimiento entre cultivares

El peso total en gramos por planta fue significativamente mayor en el cultivar 'Zamorana' que en los otros dos. Este rendimiento se debió principalmente al peso del fruto ya que los frutos de 'Zamorana' tuvieron mayor peso que los cultivares 'Festival' y 'Jacona', pero no hubo diferencia en el número de frutos por planta entre los tres cultivares (Cuadro 4). Considerando la distribución del rendimiento en los experimentos (Figuras 3B y 3D), hubo incrementos considerables en el peso del fruto en enero 2014 y rendimiento de planta en febrero 2014. Referente al rendimiento de la planta, se detectaron diferencias entre cultivares en

dos de las seis fechas. En tales casos, los cultivares mexicanos tuvieron mayor rendimiento que 'Festival', el cultivar 'Jacona' tuvo mayor rendimiento antes del invierno en diciembre y 'Zamorana' dominó a finales del invierno en febrero (Figura 3D). Hubo diferencias en el peso del fruto entre cultivares en cuatro de seis fechas de muestreo, en esta variable dominaron los cultivares mexicanos y 'Zamorana' prevaleció con frutos más pesados (Figura 3B).

### Discusión

La composta de estiércol de borrego en el sustrato no afectó la acumulación de la materia seca en la planta de fresa durante el periodo vegetativo (primeros ocho meses), pero tuvo un notable impacto negativo en esta variable durante la fructificación (Cuadro 1). En investigaciones previas se han encontrado efectos positivos de la composta en la acumulación de materia seca total de la fresa cuando únicamente se ha utilizado agua para regar, lo anterior se observó utilizando composta de estiércol de borrego o desechos agrícolas (Alvarado-Raya et al., 2014; Wang y Lin, 2002). También Lloyd et al. (2016) encontraron que se pueden observar efectos positivos de la composta en el crecimiento y rendimiento de la planta de fresa cuando crece en condiciones ambientales por debajo de las óptimas, incluyendo el clima y las características del suelo; y Vandecasteele, et al. (2018) señalaron que se necesita ajustar el N, P y K en la solución de fertirriego cuando se cultiva en un sustrato a base de composta para obtener mejor desempeño de la fresa cuando se cultiva en un sistema sin suelo. En nuestro experimento, todos los tratamientos fueron regados con una solución Steiner y la disponibilidad de nutrientes pudo explicar la falta de efecto de la composta durante el periodo vegetativo.

Durante el periodo de fructificación de la fresa, el comportamiento de la ubicación del peso seco podría cambiar hacia el desarrollo de los frutos (Fernández et al., 2001). En nuestro experimento, la composta tuvo un impacto negativo en la acumulación de la materia seca en la planta du-

Cuadro 4. Rendimiento total y peso del fruto de tres cultivares de fresa sembrados en dos mezclas de sustrato.

	Rendimiento total por planta (g)	Número total de frutos por planta	Peso promedio del fruto (g)
<b>Media (M)</b>			
Turba:perlita	355.5±11.8	29.8±1.2	12.2±0.3a
Composta:turba:perlita	330.7±15.6	28.7±1.0	11.6±0.3b
Significancia	ns <sup>x</sup>	ns	*
<b>Cultivar (C)</b>			
Festival	317.4±18.2b	30.2±1.6	10.6±0.2c
Jacona	333.8±14.7b	27.7±1.3	12.2±0.1b
Zamorana	378.2±13.4a	29.9±1.1	12.9±0.3 <sup>a</sup>
Significancia	*	ns	***
M x C	*	*	ns

Valores son la media ± el error estándar. Medias con la misma letra en la columna y factor no son estadísticamente diferentes (Tukey=0.05). ns:No-significativo; \*Significativo a 0.05; \*\*Significativo a 0.001; \*\*\*Significativo a 0.0001.



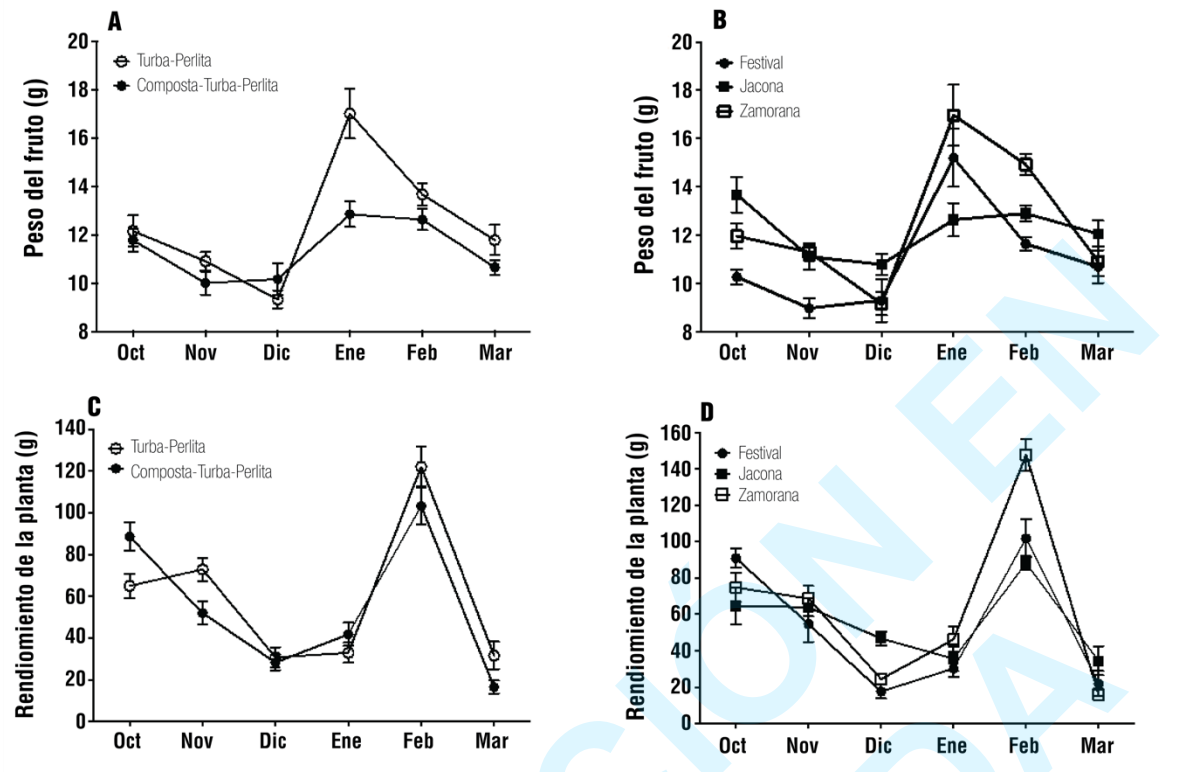


Figura 3. Peso del fruto y rendimiento de la planta en tres cultivares de fresa (B, D) sembrados en macetas con dos mezclas de sustrato (A, C). Barras de error y errores estándar.

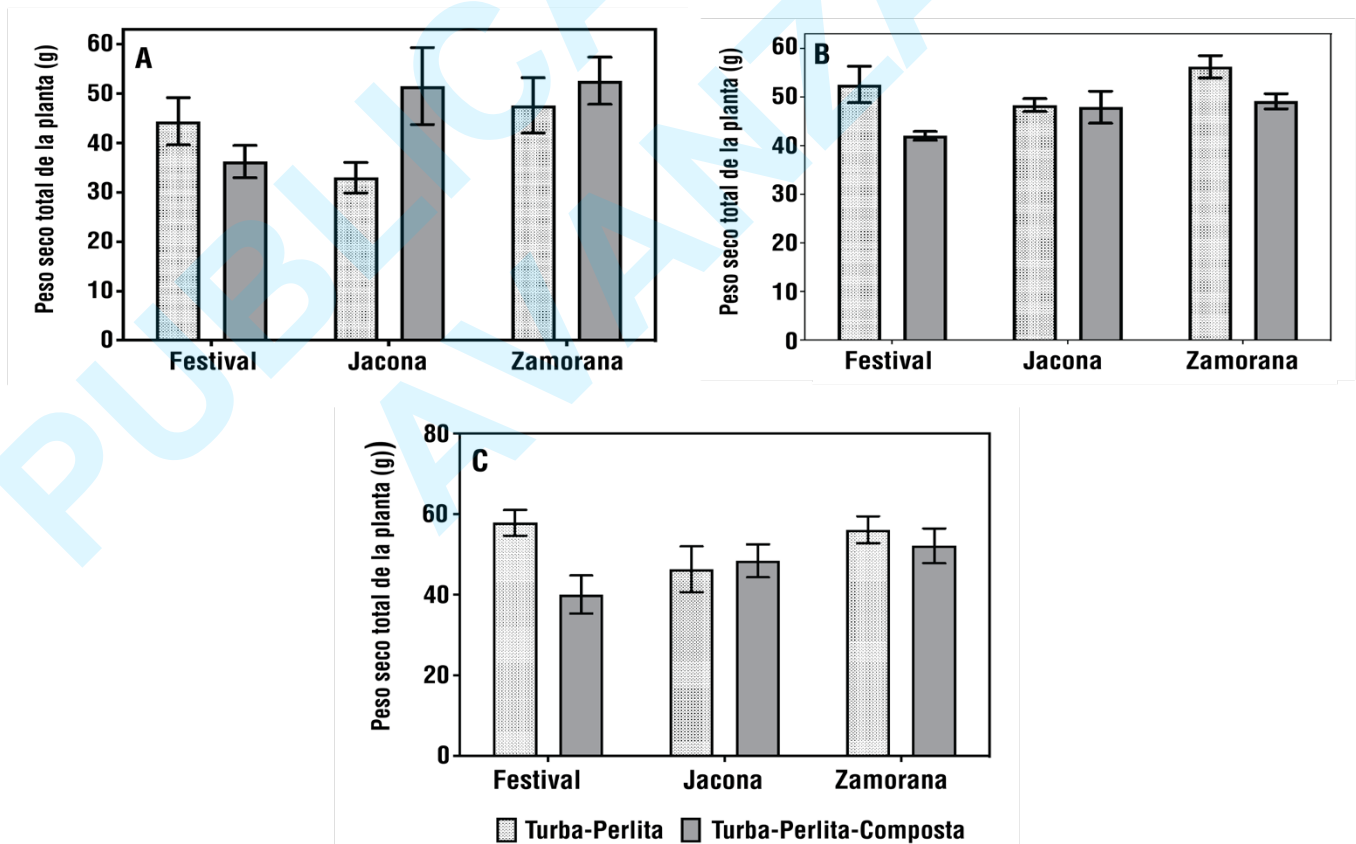


Figura 4. Efectos de la interacción del sustrato y cultivar sobre el peso seco de la planta en Noviembre 4 (A), Febrero 13 (B) y Abril 9 (C). Barras de error son errores estándar.

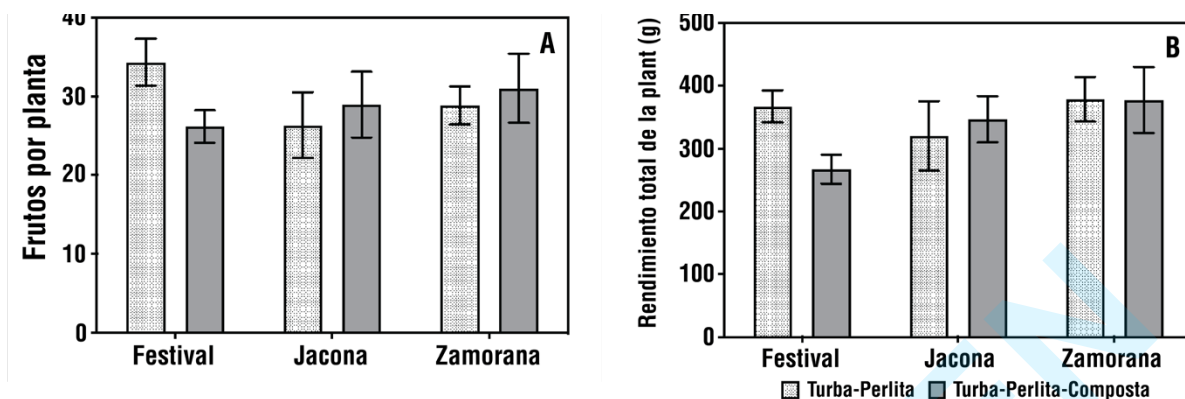


Figura 5. Efectos de la interacción del sustrato y cultivar en el número de frutos por planta (A) y rendimiento total de la planta (B). Barras de error son errores estándar.

total en este periodo, los resultados del presente trabajo no mostraron diferencias en la fisiología foliar. Blanke (2009) mencionó la importancia primordial de los frutos como un contenedor para asimilados y Fernández et al. (2001) encontraron un cambio en la ubicación de la materia seca del fruto a la flor después de que estos órganos aparecieran en la fresa. En nuestro experimento, la materia seca disminuyó en los órganos vegetativos durante la fructificación (Figura 1) con disminuciones más profundas en las hojas de las plantas cultivadas en composta (Figura 1C) y en las raíces de las plantas cultivadas sin composta (Figura 1G), lo cual podría indicar no solo la removilización de la materia seca de estos órganos hacia los frutos en desarrollo, sino también un tipo de balance entre raíces, hojas y frutos para mantener el desarrollo frutal.

Referente a los cultivares, ‘Zamorana’ mostró ser más vigoroso y de mayor rendimiento que ‘Festival’ y ‘Jacona’. ‘Zamorana’ también tuvo frutos más grandes durante el periodo de fructificación (Cuadros 1 y 4, Figura 3B). En el caso del análisis del efecto de interacción, las Figuras 4 y 5 mostraron que ‘Festival’ fue mayormente afectado por el sustrato que ‘Jacona’ y ‘Zamorana’, los cuales tuvieron pesos secos totales similares, igual número de frutos por planta y también semejante rendimiento independientemente de la composta en el sustrato de cultivo.

Entre los tres cultivares, la respuesta favorable de ‘Zamorana’ en este trabajo a los sistemas de macetas con composta de estiércol de borrego, lo convirtió en un cultivar adecuado en el área de estudio para la producción en macetas, lo cual debe ser considerado para sistemas urbanos y periurbanos sustentables, por lo tanto, buscando la seguridad alimentaria en estas áreas.

## Conclusión

La composta con estiércol de borrego no tuvo efecto en el rendimiento total de la fresa en los sistemas de producción utilizados. Aunque las unidades SPAD y la materia seca

fueron más bajas durante la fructificación en las plantas cultivadas en composta, la fisiología foliar fue poco afectada por los tratamientos. Adicionalmente, la removilización de la materia seca, principalmente de raíces y hojas, podrían jugar un papel clave durante el desarrollo del fruto y eliminar el efecto negativo del estiércol en el peso seco de la planta durante la fructificación. La fresa ‘Zamorana’ parece ser un genotipo adecuado para la producción en maceta con sustratos de composta. Este cultivar tuvo un comportamiento favorable en los dos sustratos estudiados.

## Agradecimiento

Este trabajo fue apoyado con una beca de Maestría en Ciencias por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en México.

## Referencias

- Alvarado-Raya, H., Salinas-Callejas, E., y Ortiz-Huerta, G. (2016). Fresh weight and quality of nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilized with cow manure compost. *Tecnociencia Chihuahua*, X, 13–22.
- Alvarado-Raya, H., Tavera Cortés, M., Mena, G., Calderón Zavala, G., López, R., y Salinas, E. (2014). Crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en sustratos a base de compostas. In *Tópicos Selectos de Recursos. Volumen V. Desarrollo Sustentable y Finanzas* (pp. 50–63). Bolivia: ECORFAN-Bolivia.
- Balci, G., Demirsoy, H., y Demirsoy, L. (2019). Evaluation of Performances of Some Organic Waste in Organic Strawberry Cultivation. *Waste and Biomass Valorization*, 10(5), 1151–1157. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0132-6>
- Blanke, M. M. (2009). Regulatory mechanisms in source sink relationships in plants: a review. *Acta Horticulturae*, (835), 13–20. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.835.1>
- Bruinsma, J. (2009). The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase

- to 2050. In FAO. *Proceedings of the expert meeting on how to feed the world in 2050* (pp. 1–33). Rome, Italy: FAO.
- FAO [Food and Agriculture Organization]. (2020). No Title. Retrieved April 3, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>
- Fernandez, G. E., Butler, L. M., y Louws, F. J. (2001). Strawberry growth and development in an annual plasticulture system. *HortScience*, 36(7), 1219–1223. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.7.1219>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Gruda, N. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., ... Moral, R. (2017). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1349–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- Jindo, K., Martim, S. A., Navarro, E. C., Pérez-Alfocea, F., Hernandez, T., Garcia, C., ... Canellas, L. P. (2012). Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil*, 353(1–2), 209–220. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1024-3>
- Kaya, C., Higgs, D., Saltali, K., y Gezerel, O. (2002). Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *Journal of Plant Nutrition*, 25(7), 1415–1427. <https://doi.org/10.1081/PLN-120005399>
- Li, X., Zhou, Y., Eom, J., Yu, S., y Asrar, G. R. (2019). Projecting global urban area growth through 2100 based on historical time series data and future shared socioeconomic pathways. *Earth's Future*, 7(4), 351–362. <https://doi.org/10.1029/2019EF001152>
- Lloyd, M., Kluepfel, D., y Gordon, T. (2016). Evaluation of four commercial composts on strawberry plant productivity and soil characteristics in California. *International Journal of Fruit Science*, 16(sup1), 84–107. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1239562>
- Mok, H.-F., Williamson, V. G., Grove, J. R., Burry, K., Barker, S. F., y Hamilton, A. J. (2014). Strawberry fields forever? Urban agriculture in developed countries: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 21–43. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0156-7>
- Naderi, R., y Ghadiri, H. (2013). Nitrogen, manure and municipal waste compost effects on yield and photosynthetic characteristics of corn (*Zea mays* L.) under weedy conditions. *Journal of Biodiversity and Environmental Science*, 7, 141–151.
- Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker, B. C., y Khurshid Alam, M. (2016). Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.05.002>
- Roosta, H. R. (2014). Effect of ammonium:nitrate ratios in the response of strawberry to alkalinity in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 37(10), 1676–1689. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.888749>
- Samangooei, M., Sassi, P., y Lack, A. (2016). Soil-less systems vs. soil-based systems for cultivating edible plants on buildings in relation to the contribution towards sustainable cities. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*, 4(2), 24–39.
- Shehata, S., Gharib, S., El-Mogy, M., Gawad, A., y Shalaby, E. (2011). Influence of compost, amino and humic acids on the growth, yield and chemical parameters of strawberries. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(11), 2304–2308.
- Tavera, C. M. E., Escamilla, G. P. E., Alvarado, R. H., Salinas, C. E., y Galicia, V. S. (2014). Regional development model based on organic production of nopal. *Modern Economy*, 05(03), 239–249. <https://doi.org/10.4236/me.2014.53025>
- UN [United Nations]. (2019). *World population prospects 2019: highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Vandecasteele, B., Debode, J., Willekens, K., y Van Delm, T. (2018). Recycling of P and K in circular horticulture through compost application in sustainable growing media for fertigated strawberry cultivation. *European Journal of Agronomy*, 96, 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.12.002>
- Wang, S. Y., y Lin, S. S. (2002). Composts as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 25(10), 2243–2259. <https://doi.org/10.1081/PLN-120014073>
- Wortman, S. E., Douglass, M. S., y Kindhart, J. D. (2016). Cultivar, growing media, and nutrient source influence strawberry yield in a vertical, hydroponic, high tunnel system. *HortTechnology*, 26(4), 466–473. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.4.466>