



MONITOREO DEL ESTADO HÍDRICO DEL SUELO Y AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE JITOMATE EN INVERNADERO

**Andrea García Monroy^{1*}; Juan Manuel Barrios Díaz¹; Benjamín Barrios Díaz¹;
Esteban Joaquín Medina¹; Fabiel Vázquez Cruz¹**

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Av. Universidad S/N. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. C.P. 73965.

andy97moonroy@gmail.com (*Autor de correspondencia)

Resumen

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, por lo cual en su cultivo es necesario monitorear variables que afectan el rendimiento y calidad de los frutos cosechados. El objetivo de este trabajo fue evaluar el monitoreo continuo de la humedad del suelo (THS) y de variables ambientales del invernadero sobre la respuesta en crecimiento de la planta, rendimiento y calidad de los frutos cosechados de tres híbridos de jitomate tipo saladette. En el experimento fueron establecidos tres tratamientos que correspondieron a los híbridos comerciales Dickens[®], Misión[®] y AH6205[®]. Las variables medidas fueron de crecimiento de la planta, de tensión de humedad del suelo, ambientales al interior del invernadero y de rendimiento de frutos. Se establecieron cuatro repeticiones de cada tratamiento y la unidad experimental fueron cinco plantas conducidas a doble tallo. Los resultados mostraron que en la última evaluación del crecimiento de la planta, únicamente hubo diferencias significativas en el diámetro de tallo y fue mayor con AH6205[®] (11.6 mm); con respecto a la fluctuación de la THS, ésta se mantuvo la mayor parte del ciclo de cultivo entre 8 y 15 cbar, lo cual representa una condición de humedad óptima para un suelo de textura media y fue acorde a las variaciones de la temperatura, humedad relativa y radiación presentes al interior del invernadero, además reflejó la demanda hídrica del cultivo de acuerdo a sus etapas fenológicas; con respecto al rendimiento total no se presentaron diferencias entre los híbridos evaluados, pero si en aspectos relacionados con la calidad de los frutos. El monitoreo continuo de variables que afectan el rendimiento y la calidad de frutos de jitomate tipo saladette es fundamental para eficientizar el manejo agronómico y operativo de los sistemas de los cultivos hortícolas protegidos.

Palabras clave: sensores de matriz granular, agricultura protegida, jitomate.



Introducción

El jitomate o tomate rojo (*Solanum lycopersicum L.*), es de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial. China e India son los países más importantes por superficie sembrada y producción. México registró una superficie cosechada de 84,926 ha, ocupando el noveno lugar a nivel mundial con una producción de 4,137,342 t, lo que representó 1.75 % de la producción global (FAO, 2020).

Para satisfacer la demanda alimenticia propiciada por la sobrepoblación, se ha recurrido al uso excesivo y poco racional de insumos energéticos y recursos naturales, aunado a que desafortunadamente la agricultura es una actividad que más se ve afectada por el cambio climático debido a impactos de altas temperaturas, sequías y tormentas, que amenazan y reducen la producción agroalimentaria (IPPC, 2014). Por lo anterior, es necesario desarrollar y difundir prácticas de manejo agrícola adecuadas para garantizar la optimización de los procesos productivos.

Bajo esta premisa, en México algunos cultivos de alto valor comercial (como el jitomate) se desarrollan mayoritariamente bajo condiciones de invernadero debido a que la producción en condiciones protegidas genera mayor calidad y rendimiento de los productos cosechados, mayor valor nutricional y mejor desarrollo de las especies hortícolas cultivadas (Sánchez *et al.*, 2010), lo cual depende de diversos factores que pueden ser controlados como por ejemplo las condiciones climáticas, la nutrición, el riego, así como el desarrollo de la planta, entre otros (El Nagar y Mekawi, 2015).

Considerando la importancia del cultivo de jitomate y la eficiencia buscada con los sistemas protegidos, es necesario monitorear continuamente el crecimiento y desarrollo de la planta, su demanda nutricional e hídrica y las condiciones ambientales, para poder manejar el cultivo con indicadores óptimos de eficiencia agronómica, lo cual nos permite bajar costos de producción y propiciar menor impacto ambiental de estos sistemas productivos. Aunado a lo anterior, con el monitoreo de las variables citadas previamente, se fundamenta la toma de decisiones para realizar ajustes a los intervalos y dosis de riego, programas de fertirrigación y de manejo del clima al interior del invernadero; estos aspectos sin duda repercuten en la expresión fenotípica de las plantas cultivadas.

Por todo lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el monitoreo continuo del crecimiento de la planta, la humedad del suelo y ambiente del invernadero, en la respuesta crecimiento, rendimiento, calidad física de los frutos de tres híbridos de jitomate tipo saladette.

Materiales y Métodos

Localización del sitio experimental

El experimento se estableció en un invernadero comercial de Teza agricultura sustentable S.A de C.V. que se ubica en la localidad de Cuapancingo, en el municipio de Tetela de



Ocampo, Puebla, México. El invernadero tiene una extensión de 10,000 m² y sus coordenadas geográficas son: 19° 49' 24.30" latitud norte y 97° 51' 8.57" longitud oeste.

El suelo del invernadero tiene las características de fertilidad mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características de fertilidad del suelo del invernadero.

Parámetro	Resultado	Unidad
Textura	Franco arcillosa	
Conductividad eléctrica	0.23	dS/m
Materia orgánica	1.57	%
Nitratos	12.29	mg/kg
Fósforo disponible	46.70	mg/kg
Boro	0.61	mg/kg
Calcio	10.5	cmol+/kg
Magnesio	1.60	cmol+/kg
Sodio	0.26	cmol+/kg
Potasio	0.92	cmol+/kg
Capacidad de intercambio catiónico	14.00	cmol+/kg

Material vegetal

Se establecieron tres híbridos de jitomate tipo saladette: AH6205[®] de AHERN, Dickens[®] de Enza Zaden y Misión[®] de Syngenta. Las semillas fueron sembradas en almácigos de poliestireno de 200 cavidades utilizando sustrato a base de peat moss y perlita, una vez germinadas fueron regadas inicialmente con agua y posteriormente con solución nutritiva.

Variables de crecimiento

La altura de la planta fue medida con un flexómetro, desde la base del tallo (a ras del suelo) y hasta el ápice de la planta. El diámetro de tallo fue medido con un vernier digital, colocado en la base del tallo de la planta. La distancia entre racimos se midió con una regla, las medidas se tomaron de la base del tallo al primer racimo y de éste al subsecuente y así sucesivamente con los demás racimos de la planta.

Monitoreo de la humedad del suelo

La tensión de humedad del suelo (THS) se midió diariamente por la mañana (8:00 am), antes de cada riego, con sensores de matriz granular y un equipo digital de lectura marca Watermark[®]. Dos sensores fueron ubicados aleatoriamente por unidad experimental dentro de las doce camas utilizadas en la evaluación. Los sensores fueron instalados antes del trasplante para evitar daños en la zona radicular, para ello fueron humectados 24 horas antes del establecimiento como lo indica el fabricante. Los sensores se ubicaron a las profundidades de 15 y 30 cm respectivamente en tres unidades experimentales. Para la medición con el lector de sensores, se midió e ingresó la temperatura del suelo ya que esta influye en las lecturas de resistencia y por lo tanto de la THS.



Variables ambientales

Con ayuda de una estación meteorológica Davis Vantage Pro 2® fueron registradas diariamente y cada hora, la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar al interior del invernadero.

Rendimiento y calidad

La evaluación de rendimiento de fruto inició a los 89 días después del trasplante y se llevaron a cabo seis cortes, en 7 semanas. Se tomaron los frutos de 10 tallos de cinco plantas y se clasificaron de acuerdo con los estándares para diámetro ecuatorial (mm) utilizando la norma NMX-FF-009 (Norma mexicana para diámetro de frutas, 1982) y la forma de los frutos de tomate se estableció de acuerdo con la norma NMX-FF-031-1997-SCFI (Norma mexicana para tomate, 1998).

Análisis estadístico

Las unidades experimentales estuvieron constituidas por cinco plantas conducidas a doble tallo y fueron establecidas cuatro repeticiones. El análisis de varianza de las diferentes variables evaluadas fue con un modelo estadístico completamente al azar y una prueba de comparación de medias por el método de Tukey con $\alpha=0.05$. El paquete estadístico empleado fue SAS versión 9.0.

Resultados y Discusión

Variables de crecimiento

En la altura de la planta no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos que fueron los híbridos comparados y en promedio alcanzaron una altura de 210.6 cm con incrementos semanales durante la evaluación de 20.7, 21.1, 20.75, 26.5, 29.8, 27.9 y 28.9 cm. Al respecto, Castellanos (2009), menciona que la elongación óptima de los cultivares tipo saladette es de 20 a 27 cm por semana, también menciona que en este aspecto juega un papel fundamental la temperatura. Además, se ha reportado que la altura de planta es una característica fenotípica de cada cultivar (Van der Ploeg *et al.*, 2007), lo cual fue reflejado en los resultados de la presente investigación.

En diámetro de tallo, AH6205® presentó el mayor (11.6 mm), pero estadísticamente igual a Misión® (11.1 mm) y ambos superiores ($p<=0.05$) a Dickens® (10.8 mm). Beltrano y Gimenez (2015), describe que el tallo delgado no influye en los rendimientos de frutos, al contrario, el tallo se vuelve menos quebradizo y se le puede dar un mejor manejo a la planta. Pérez (2017), no encontró diferencias significativas durante su experimento teniendo valores de diámetros similares a los obtenidos en este experimento.



El número de racimos de los híbridos comparados durante el período de evaluación fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) y Dickens[®] presentó 11 racimos, AH6205[®] tuvo 9 racimos y Misión[®] fue el menor con 8 racimos. Por su parte, la distancia entre racimos fue mayor en AH6205[®] (28.6 cm), pero estadísticamente igual a Dickens[®] (26.2 cm) y superiores ($p \leq 0.05$) a Misión (24.8 cm). Al respecto, Vargas et al. (2014) argumentó que existe una relación directa entre la distancia de racimos y la altura de planta y ambas variables denotan el vigor de la planta. Por otra parte, Van der Ploeg *et al.* (2007) reportó una distancia promedio de 30 cm en tomate, lo cual es muy similar a los resultados de esta investigación.

Monitoreo de la humedad del suelo

En la figura 1 se muestra la variación de la THS durante el ciclo de cultivo y es importante señalar que con base a los valores observados diariamente se tomaron decisiones sobre la oportunidad y dosificación del riego.

Para interpretar la variación de la THS, Castellanos (2009) indica que entre 0 y 7 cbar, el suelo de textura media se encuentra prácticamente saturado, condición que adquiere después de un riego normal y cuando ésta se mantiene por un periodo prolongado la planta puede sufrir asfixia; sin embargo, el sistema radical y la condición de tener un reducido bulbo de humedad hace que en condiciones normales, en un corto periodo, la humedad se redistribuya, la THS se incremente y la aireación se incremente rápidamente. Los valores entre 8 y 15 cbar se consideran óptimos para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, el valor inferior normalmente ocurre después del riego y el superior indica que hay que activar el riego. Para establecer el criterio de riego es importante considerar la etapa fenológica del cultivo.

La coincidencia de algunas etapas fenológicas con condiciones climáticas especiales puede requerir una menor THS, tal es el caso de la etapa de crecimiento del fruto de tomate bajo una alta temperatura y baja humedad relativa.

Por último, los valores de THS entre 16 y 30 cbar pueden atribuirse a la condición subóptima y el rendimiento de los cultivos puede afectarse por falta de humedad; sin embargo, hay que tener en cuenta que cada cultivo responde de manera diferente al nivel de THS. Estos valores pueden variar de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climatológicas.

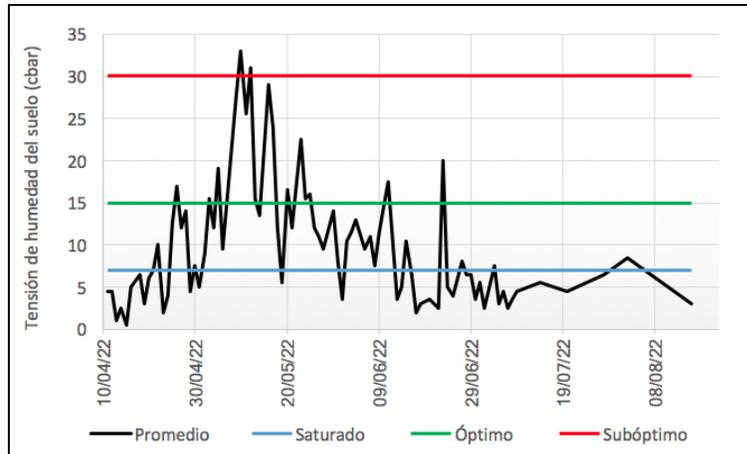


Figura 1. Variación de la tensión de humedad del suelo (cbar), promedio de sensores colocados a 15 y 30 cm de profundidad, en un suelo franco arenoso, durante el ciclo del cultivo de jitomate tipo saladette en condiciones de invernadero.

Con base en la gráfica anterior, se observa que, durante el establecimiento del cultivo, primeros 10 días después del trasplante (DDT), el suelo permanece suficientemente húmedo (THS entre 0 y 7 cbar), debido a que en esta etapa se forma el bulbo húmedo y la planta evapotranspira cantidades muy pequeñas de agua, pues presenta poca área foliar y también se evita el estrés hídrico provocado por el trasplante.

Posteriormente, de 10 a 30 DDT, debido al crecimiento más rápido de la planta y específicamente del área foliar, además del incremento de la temperatura al interior del invernadero (figura 2), la humedad del suelo disminuye y se presentan valores de THS de 8 a 15 cbar, inclusive, en la parte intermedia del ciclo (30 a 50 DDT), la THS disminuye aún más, a valores entre 16 y 30 cbar, en esta etapa la planta presenta el “cuaje” de los primeros racimos florales y crecimiento acelerado de los frutos.

Finalmente, después iniciado el crecimiento de los frutos y hasta que alcanzan su tamaño final o madurez fisiológica (75 DDT), operativamente se incrementó la dosis de riego y la THS volvió a valores del rango óptimo (8 a 15 cbar). Posteriormente, a partir de que los frutos empiezan su madurez comercial y hasta la última cosecha evaluada (120 DDT), la THS se mantuvo en el rango de 0 a 7 cbar, debido a que los frutos de los racimos presentes en la planta permanecen en constante crecimiento y madurez hasta su cosecha, en tales condiciones la planta demanda un constante suministro de agua para evitar efectos fisiológicos adversos que demeriten su calidad física y organoléptica.

Variables ambientales

La temperatura registrada en el invernadero durante 100 días del cultivo de jitomate se muestra en la Figura 2. Los promedios de temperatura fueron 35.5 °C de máxima, 12.1 °C de mínima y en general fue de 23.8 °C. Allende *et al.* (2017), mencionan que la temperatura es el parámetro más importante y el rango óptimo para que ocurra la

floración del tomate va de 18 a 25 °C, cuando se superan 35 °C se produce aborto floral y cuando es menor a 13 °C se tienen problemas de “cuaje” y se obtienen frutos deformes.

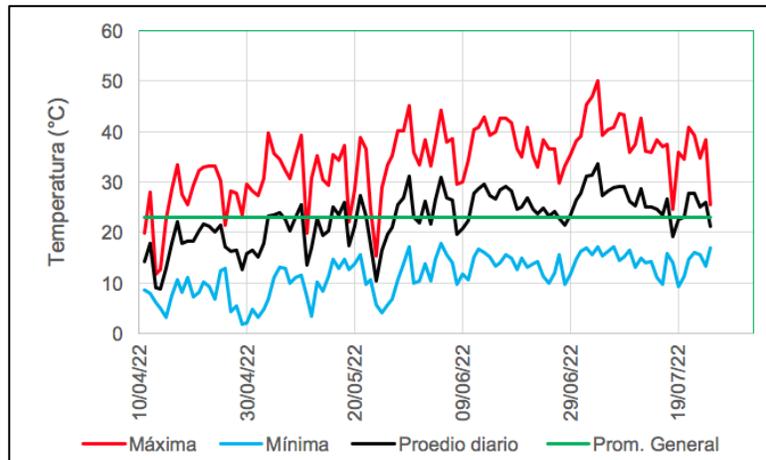


Figura 2. Temperatura registrada al interior de un invernadero cultivado con jitomate tipo saladette en Tetela de Ocampo, Puebla.

El promedio de humedad relativa máxima fue 84 % y mínima 40.6 %. Allende (2017), señala que un rango óptimo para la adecuada polinización se encuentra entre 60 y 70 %, valores superiores ocasionan compactación del polen que la dificulta y valores inferiores a 60 % reducen la fijación del polen al estigma de la flor. Sin embargo, el promedio general registrado al interior del invernadero fue 62.3 %, el cual es óptimo de acuerdo con lo establecido previamente. Escobar y Lee (2009) mencionan que la humedad relativa ideal para el desarrollo, crecimiento y fertilidad del cultivo de tomate oscila entre el 60 y 85 % y en esta condición son requeridas de 6 a 8 horas diarias.

La radiación solar fue en promedio de 10.6 MJ/m²/d. Al respecto, Jasso et al. (2012) señala que la iluminación limitada origina reducción en la fotosíntesis neta e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción, además indica que valores diarios alrededor de 0.85 MJ/m² son mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor iluminación en menores periodos de tiempo que iluminaciones bajas durante mayor tiempo. La radiación más baja registrada en el invernadero fue 4.2 MJ/m²/d y la más alta fue 16.4 MJ/m²/d, valor similar al óptimo (14 a 16 MJ/m²/d) indicado por Castellanos (2009) para que el cultivo de tomate produzca con mínimas restricciones fotosintéticas,

Rendimiento

En el rendimiento total de frutos cosechados no hubo diferencia significativa entre los tres tratamientos que fueron los híbridos evaluados y en general se obtuvo un promedio general de 18.4 kg/planta. Es importante señalar que el número total de racimos fue diferente entre los materiales genéticos evaluados y considerando este aspecto, con Misión® fue mayor el rendimiento promedio por racimo cosechado (0.631 kg) y muy



similar a AH6205[®] (0.599 kg), pero ambos significativamente mayores que con Dickens[®] (0.482 kg), lo cual se corrobora más adelante con el tamaño y número de frutos.

Calidad de frutos

En el cuadro 2 se observa que Dickens[®] fue el que mostró mayor número de frutos bien formados, pero sin diferencia con respecto a AH6205[®]; mientras que para frutos regularmente formados y frutos mal formados no se encontraron diferencias estadísticas entre los híbridos evaluados.

Cuadro 2. Promedio del número de frutos de jitomate tipo saladette cosechados por corte y su clasificación por la forma del fruto.

Tratamiento	Clasificación		
	Bien formados	Regularmente formados	Mal formados
Dickens [®]	96.00 a	82.66 a	54.33 a
Misión [®]	69 .00 b	82.00 a	46.83 a
AH6205 [®]	88.66 a	77.33 a	55.00 a
CV	13.95	16.79	21.22
DMSH	18.67	21.44	17.49

Letras iguales por columna no representan diferencias significativas; ($\alpha=0.05$); CV: coeficiente de variación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Tamaño de frutos

En el cuadro 3 se muestra el promedio de frutos cosechados por corte y clasificados por tamaño de cada híbrido evaluado, según NMX-FF-009 (norma mexicana para diámetro de frutas, 1982). Para el total de frutos clasificados, frutos extragrandes y grandes no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos.

Por su parte, Dickens[®] fue el de mayor cantidad de frutos medianos, pero sin diferencia respecto a AH6205[®]. En los frutos de tamaño chico, Dickens[®] fue en el que se obtuvo la mayor cantidad. Al respecto, Russell y Morris (1983), mencionan que el número de frutos está muy relacionado con la cantidad de hojas que actúan como fuente de asimilados de acuerdo con su filotaxia; además, señalan que, al realizar la poda de frutos, los asimilados son atraídos por los frutos presentes y adyacentes que aumentan su peso y tamaño. Moorby (1981), indica que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, con respecto a lo anterior, el tallo más grueso fue con AH6205[®].



Cuadro 3. Promedio del número de frutos de jitomate tipo saladette cosechados por corte y su clasificación por tamaño del fruto.

Tratamiento	Tamaño				Total
	Chico	Mediano	Grande	Extragrande	
Dickens®	49.33 a	77.16 a	101.17 a	5.33 a	233.00 a
Misión®	23.88 b	57.50 b	112.67a	3.83 a	197.83 a
AH6205®	37.16 ab	66.50 ab	110.83 a	6.50 a	221.00 a
CV	40.17	16.03	19.32	68.65	10.81
DMSH	23.38	17.08	33.09	5.67	37.17

Letras iguales por columna no representan diferencias significativas; ($\alpha=0.05$); CV: coeficiente de variación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Conclusiones

El monitoreo continuo del estado hídrico del suelo y ambiental del invernadero fue muy importante para controlar los parámetros de manejo del riego, la expresión fenotípica de los híbridos evaluados y los procesos fisiológicos, que afectan el rendimiento del cultivo y la calidad de los frutos de jitomate cosechados.

Referencias Bibliográficas

- Allende, M., L. Salinas, A. Torres. 2017. Manual de cultivo del tomate bajo invernadero.
- Beltrano J., D. Giménez. 2015. Cultivo en hidroponía, Universidad de la Plata. pp 1-181.
- Castellanos J.Z., 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Primera Edición. Ediciones Intagri. pp 458.
- El Nagar, M., E Mekawi. 2015. Evaluation of some biochemical properties in different tomato genotypes obtained from tissue culture technique. Global J Research Analysis 4(9):189-193.
- Escobar, H., R. Lee. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- FAO. 2020. FAOSTAT, datos cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- IPCC. 2014. Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Special Report.
- Jasso, C.C., M.G. Martinez, A.V., Chávez, T.J. Ramirez, U.E. Garza. 2012. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. p 169.



- Norma mexicana para diámetro de frutas. "NMX-FF-009-1982.Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Fruta fresca - Determinación del tamaño en base al diámetro ecuatorial". México.
- Norma mexicana para tomate. "NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Hortalizas frescas -Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*).
- Pérez–Rodríguez G. 2017. Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) Sahael bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Torreón Coahuila. Pp. 1-95.
- Russell C.R., A.D. Morris. 1983. Patters of assimilates distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plants. Ann. Bot. 52:357-363.
- Sánchez del C. F., R.C. Moreno, M. Coatzín, T. Colinas, A. Peña. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(3):207-214.
- Van der Ploeg, A., M. Van der Meer, E. Heuvelink. 2007. Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives. Euphytica 158(1-2):129-138.
- Vargas-Canales, J.M., M.A. Castillo-González, J. Pineda-Pineda, J.A. Ramírez-Arias, E. Avitia-García. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. Revista Chapingo. Serie horticultura, 20(1):71-88.