

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y VARIEDADES EN LA PRODUCCIÓN PROTEGIDA DE JITOMATE

E. Velasco-Hernandez¹; I. Miranda-Velázquez²; R. Nieto-Ángel¹; H. Villegas-Rodríguez¹

¹Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. (Autor responsable).

²Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la comunidad de San Miguel Tulancingo, Oaxaca, México, en donde se evaluaron tres sustratos y tres variedades de jitomate de crecimiento determinado en hidroponía en condiciones de invernadero; los datos se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar. Se encontró que la arena de río presenta un mejor balance en la capacidad de aireación (16.79 %) con buena retención de humedad (23.98 %) y la mayor producción con 850.98 g-planta⁻¹. En la producción de frutos de las tres variedades de jitomate, no mostraron diferencias estadísticas, siendo de 766.21 g-planta⁻¹ en la variedad Súper Río Grande. La mejor combinación se encontró entre la Arena-Súper Río Grande con 994.52 g-planta⁻¹, en tanto que la producción más baja se obtuvo en la combinación Cascajo-Lobo con sólo 443.02 g-planta⁻¹.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Lycopersicon esculentum* Mill., producción intensiva, sistemas de manejo.

EVALUATION OF SUBSTRATES AND VARIETYS IN PROTECTED PRODUCTION OF TOMATO

ABSTRACT

The present research was carried out in the community of San Miguel Tulancingo, Oaxaca, where we evaluated three substrates and three varieties of tomato to determinate growth habit in hydroponics under greenhouse conditions. Data were analyzed using a completely randomized experimental design. We found that river bed sand shows a better balance for aeration capacity (16.79 %), with good moisture retention (23.98 %) and the highest production with 850.98 g-plant⁻¹. The three tomato varieties did not show statistical differences for fruit production with a value of 766.21 g-plant⁻¹ for variety Super Rio Grande. The best combination substrate-variety combination was sand- 'Super Rio Grande' with 994.52 g-plant⁻¹, while the lowest production was obtained with debris- 'Lobo' with only 443.02 g-plant⁻¹.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Lycopersicom esculentum* Mill., intensive production, management systems.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es un cultivo hortícola muy importante en la economía de los productores de esta especie, principalmente porque los ingresos *per capita* para los productores es muy importante y porque constituye parte esencial de la dieta alimenticia para el humano (Anónimo, 1995); no obstante, existe un gran número de factores físico-ambientales que tienen su efecto en la producción y calidad del fruto. Uno de los problemas más significativos que se ha observado en la producción de esta especie a campo abierto, es la dificultad en el manejo de los factores que influyen en el desarrollo del cultivo, entre los que se pueden mencionar están, los cambios extremos de temperatura, la deficiencia o

excesos de agua como resultado de las altas precipitaciones, y suelos mal drenados, lo que generalmente propician la presencia de enfermedades y consecuentemente, un abuso en el uso de fungicidas para su prevención y control (Rodríguez *et al.*, 2001). La hidroponía es una técnica para el desarrollo del cultivo en el que su sistema radical se desarrolla sin suelo, ya sea en agua o en un sustrato inerte, con la particularidad que debe proporcionársele al sistema radical, agua, minerales y oxígeno suficientes para el óptimo desarrollo de la planta (Bunt, 1988; de Rouin *et al.*, 1988; Ismael *et al.*, 1993; Bastida, 2002).

La hidroponía ha sido utilizada para el desarrollo de los cultivos más sensibles a enfermedades y con mayor

rentabilidad económica, sin embargo, actualmente todavía se tienen muchas dudas sobre las características físico-químicas de algunos sustratos y su efecto en el desarrollo, producción y calidad de frutos, principalmente de aquellos sustratos naturales, todavía no reportados en la literatura. Verdonck *et al.* (1981) mencionan que para determinar el uso de un material como medio de cultivo o sustrato, uno de los factores más importantes a considerar son sus propiedades físico-químicas, con la finalidad de programar, desde un inicio, el tipo de manejo a realizar, fundamentalmente en cuanto nutrición, abastecimiento de agua, y todas aquellas circunstancias de manejo y uso. Wilson (1985) mencionó que el material fino incrementa la cantidad de agua fácilmente disponible, en tanto que el material grueso incrementa la capacidad de aireación.

Valdivia (1989) reportó que partículas inferiores a 0.25 mm, tienen una gran influencia en la retención excesiva de humedad, creando problemas de aireación, además de que los sustratos que presentan una proporción por arriba del 15 % de este tamaño, se compactan demasiado. En el mismo sentido este autor reportó que cada sustrato se comporta de manera diferente en la retención de humedad, aun cuando sus características de densidad aparente y porosidad coincidan en sus valores.

En México, la hidroponía empezó a desarrollarse desde hace aproximadamente veinte años, y dada las circunstancias de una técnica relativamente nueva, se empezaron a utilizar sustratos de importación muy eficientes pero con algunos inconvenientes, como la adquisición y los altos costos, tales como la agrolita, la lana de roca, perlita, el "peat moss", sin embargo, y dada la situación económica y del desconocimiento en el manejo por los productores, se hace necesario buscar por alternativas de sustratos que no impliquen, altos costos y de fácil manejo, por ejemplo, el "tezontle" (del eje neovolcánico), "tepetziti" y la fibra de coco (de las zonas costeras), que han sido excelentes sustratos en las diferentes especies hortícolas (Bastida, 2002), pero que todavía sigue siendo un problema para aquellas regiones en las que no se cuenta con este recurso y los altos costos de transporte, por lo que, y a pesar de los avances en el conocimiento sobre el uso de los sustratos en la hidroponía, existen alternativas de sustratos más económicos y altamente eficientes en las diferentes regiones productoras, particularmente en la Mixteca Alta Oaxaqueña en la que, dadas las circunstancias de baja humedad relativa (40 %), baja precipitación y poca superficie de suelos agrícolas, sumados a la condición de pobreza y alta marginación (Nieto, 1984), fue pertinente realizar la presente investigación con la finalidad de evaluar los materiales de la región y utilizarlos como sustrato, con la finalidad de abaratar costos y que éstos estén al alcance de los productores.

El cultivo de jitomate en esta región, ha sido un cultivo de reciente introducción como cultivo a campo abierto, sin embargo, dadas las condiciones de alta susceptibilidad a enfermedades por motivos de suelos anegados, la presencia de enfermedades tales como el tizón tardío y temprano, así como el *Fusarium*, rápidamente hicieron presencia en estas condiciones, lo que ha implicado buscar nuevas alternativas a estos problemas, y una de ellas fue el cultivo del jitomate en hidroponía e invernadero y con esto, garantizar una producción más segura y de mayor calidad, por lo que en la presente investigación se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la producción de tres materiales como sustratos y tres variedades de jitomate, en condiciones de hidroponía e invernadero en la Mixteca Alta Oaxaqueña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se desarrolló de febrero a septiembre del 2001 en la comunidad de San Miguel Tulancingo, que se encuentra ubicada en la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca, México, localizada a 17° 45' de Latitud Norte y a 97° 26' de Longitud Oeste, a 2,250 msnm (Nieto, 1984).

Esta comunidad cuenta con un clima Cb(w₀)(w)igw", templado con temperaturas extremas en el día y en la noche, la temperatura media anual es de 16.2 °C. La precipitación media anual es de alrededor de 600 mm distribuida muy irregularmente durante mayo a octubre, con régimen de lluvias en verano y presencia de sequía intraestival en los meses de julio y agosto (García, 1981). La humedad relativa de la región es de alrededor del 50 % y sólo en el verano durante el periodo de precipitación, la humedad del aire aumenta y las temperaturas varían de 12 °C por las noches y hasta 33 °C a medio día.

Las temperaturas al interior del invernadero durante el periodo de desarrollo del cultivo de jitomate, se igualaron a 12 °C, muy similar a las del ambiente, sin embargo, a las 15:00 h las temperaturas llegaron a incrementarse hasta 42 °C, en tanto que la humedad relativa se elevó hasta el 70 % en las horas de máxima temperatura.

Características del sustrato

Los materiales de la región que se utilizaron como sustratos: arena de río, lama y cascajo. La arena de río fue tomada de las partes donde se inician las corrientes de agua en los ríos, esto para garantizar que no estén contaminadas de sales; el material fue cribado con una malla de alambre para garantizar que el tamaño de las partículas de las arenas no rebasara de 2.0 mm de diámetro. La lama se define como la mezcla de partículas

de arena con material orgánico arrastrado por la misma agua, y fue obtenida en los sitios de azolve en las partes bajas de los ríos, además de haberse cribado para garantizar que el sustrato no rebasara igualmente a los 2.0 mm de diámetro. El cascajo es un material sedimentario que se localiza de forma abundante en los lomeríos de la región, y que se utiliza principalmente para revestir caminos, por su aspecto de baja retención de agua, lo que garantiza un buen drenaje, además de que al parecer se trata de un material relativamente poroso e igual que los otros materiales, el tamaño de las partículas fuera no mayor que 2.0 mm de diámetro. A los tres materiales se les determinaron algunas propiedades físicas como sustratos, tales como espacio poroso total, capacidad de aireación y retención de agua. Para determinar estas propiedades se utilizaron muestras de cada uno de los sustratos en volúmenes de 10 litros.

Para determinar el espacio poroso total se deshidrató completamente el sustrato y posteriormente se le agregó agua hasta el nivel de saturación, midiendo el volumen ocupado por el agua y de ahí se obtuvo la proporción que ocupó el agua en relación al volumen total del sustrato, en tanto que para la capacidad de aireación, el sustrato se saturó de agua y se dejó drenar libremente; se midió el volumen de agua agregada hasta punto de saturación, y con el agua drenada libremente se calculó el porcentaje de agua drenada en relación al volumen total. La retención de agua por los sustratos se determinó mediante la cantidad de agua ocupada en la saturación del sustrato y el agua drenada libremente y por diferencia, se obtuvo el porcentaje de agua total retenida con relación al volumen total del sustrato.

Variedades de jitomate

En virtud de la experiencia obtenida en el cultivo de jitomate a campo abierto, en la que la variedad (a) Súper Río Grande había sido una de las que mejor respuesta, en cuanto a producción y calidad de frutos había presentado, y con la finalidad de compararla con otras variedades del mismo hábito de crecimiento indeterminado, se optó en utilizar las variedades (b) Lobo y (c) HMX2861 F1; las tres variedades de hábito de crecimiento determinado, además de que se trataba de la primer experiencia en la producción de jitomate en hidroponía e invernadero en la región.

Manejo del cultivo

La investigación se llevó a cabo en un invernadero de tres túneles de 51 m de largo por 21 m de ancho, cubriendo en conjunto una superficie de 1,071 m²; construido con estructura de PTR de 2" en calibre 14 y cubierta de polietileno transparente calibre 720 tratado contra rayos ultravioleta, sin embargo, y a pesar de la superficie amplia de la nave, sólo se utilizó el túnel central del invernadero en donde se ubicaron las plantas, cada variedad de jitomate en una cama de 1.20 m de ancho, dando un total de seis

macetas por metro cuadrado de invernadero; se seleccionaron 60 plantas al azar por variedad, y éstas fueron las que se evaluaron en su comportamiento en el desarrollo de las plantas y su producción.

Para la germinación de las semillas de las tres variedades de jitomate se utilizaron charolas de unicel con 200 cavidades, utilizando como sustrato una mezcla de suelo de monte con materia orgánica y de arena de río en una proporción de 2:1, mismos que fueron desinfectados en agua hirviendo durante 2 h. El trasplante se realizó en bolsas de polietileno negro de 37 x 35 cm con sus respectivos sustratos, dando un volumen de 10 litros cada una. La finalidad de no utilizar bolsas de mayor capacidad se debe a que la arena y la lama presentan un peso relativamente alto y las bolsas correrían el riesgo de romperse muy rápidamente, y no menores a ese volumen ya que el sistema radical de la planta se vería limitado y éstas no se desarrollarían adecuadamente.

La fecha de siembra de las semillas fue el 5 de febrero del 2001, colocando una semilla en cada cavidad y posteriormente las charolas se apilaron con la finalidad de incrementar la temperatura del sustrato y las semillas germinaran más rápidamente. La germinación de las semillas se presentó a los tres días a partir de la siembra, y en este tiempo las charolas fueron colocadas sobre bancales para facilitar el desarrollo de las plántulas y el riego. Todo este proceso se realizó en el interior del mismo invernadero.

El trasplante se hizo el 12 de marzo del mismo año, cuando las plántulas habían alcanzado una altura aproximada de 12 cm, con cuatro hojas verdaderas. El arreglo topológico en el que se colocaron las bolsas fue a tres bolillo a una distancia de 30 centímetros entre macetas, con la finalidad de captar mejor la radiación solar, lo que indujo una densidad de seis plantas por metro cuadrado.

El riego después del trasplante se realizó mediante una manguera una sola vez por día; posteriormente se instaló un sistema de riego por goteo con goteros de 3.8 lph, haciéndolo dos, tres, y hasta cuatro ocasiones por día, dependiendo de la etapa fenológica de la especie; el gasto inicial por maceta al inicio del desarrollo del cultivo fue de 150 ml por maceta, hasta llegar a 300 ml de solución nutritiva por riego, dando un total de 1.20 litros por día por planta.

Para el tutoreo de las plantas se inició 20 días después del trasplante cuando las plantas presentaban entre 25 y 35 cm de altura; en esta práctica se utilizó rafia a partir de la base de las plantas y sostenida por alambre galvanizado calibre 10 colocada sobre "porterías" de perfil zintro de 1½ pulgadas a una altura de 2.0 m.

Para prevenir y controlar las enfermedades fungosas,

se hicieron aplicaciones de Tecto-60 y Captán en proporción de 3 g por litro de agua, Daconil en proporción de 2 g por litro de agua, así como Caldo Bordelés, Ridomil Gold aplicado al riego en proporción de 2 ml por litro de agua. Para la prevención y control de enfermedades bacterianas se realizaron dos aplicaciones de Agri-micin 500 mezclado 3 g por litro de agua; estas aplicaciones se realizaron cuando las condiciones ambientales fueron muy húmedas o al observarse algún síntoma de alguna enfermedad. Para el control de la mosquita blanca se hizo con Impide a una concentración de 5 ml por litro de agua, y aplicado una vez cada ocho días.

La fertilización se realizó mediante solución nutritiva hecha a base de ácido fosfórico, 175 ml; nitrato de potasio, 650 g; sulfato de magnesio, 1,110 g; nitrato de calcio, 1,230 g; sulfato ferroso, 10.0 g; sulfato de manganeso, 2.0 g; ácido bórico, 2.8 g; sulfato de cobre, 2.0 g y sulfato de zinc, 2.0 g, todo esto en 1,100 litros de agua y aplicado una vez por día, independientemente de los riegos realizados por día.

Caracteres evaluados

Se evaluaron 60 plantas al azar por variedad de jitomate y a éstas, las siguientes variables fueron tomadas: días a floración que fue contabilizada a partir de la fecha de siembra y a la presencia de la primer flor; longitud del tallo a la quinta hoja, considerada ésta como resultado de la hidroponia y los factores ambientales del invernadero; número de hojas por planta, desde el trasplante hasta la conclusión del experimento y evaluado cada 30 días; número de racimos por planta, contabilizándose también cada 30 días; número de frutos por racimo, de la que se generó el número de frutos por planta; peso promedio por fruto; y producción por planta.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se consideraron 20 macetas por tipo de sustrato, dando un total de 60 plantas por variedad de jitomate, y se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar. Cada sustrato estuvo ubicado en una cama diferente y en ella se establecieron las tres variedades de jitomate. La unidad experimental lo constituyeron cinco plantas y éstas a su vez fueron consideradas como una repetición, dando un total de cuatro repeticiones por variedad de jitomate dentro de cada sustrato. Los datos fueron analizados mediante el programa SAS versión 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de los sustratos

Espacio poroso total

La lama es el material que mostró una mejor tendencia en el espacio poroso con un 44.05 %, en segundo lugar lo

presentó el cascajo con 42.6 % y el tercer lugar lo ocupó la arena con 40.77 % (Cuadro 1). Lemaire (1995) describe a la porosidad total como el volumen de los espacios vacíos ocupado por los fluidos en el total del volumen del sustrato, y menciona que esta porosidad alcanza altos valores en los sustratos entre 75 y 90 %, contra 50 % de los suelos naturales. En general, el espacio poroso total en la presente investigación es relativamente bajo comparado con lo que Martínez y García (1993) y Abad *et al.* (1993) citan. El espacio poroso de un sustrato óptimo para el desarrollo de un cultivo debe presentar alrededor del 85 % de su volumen total.

Capacidad de aireación

Con relación a la capacidad de aireación de los sustratos en evaluación, los resultados indican que el cascajo presentó una mayor capacidad de aireación, que corresponde a 35.52 % y superó en gran medida a la arena que estuvo en segundo lugar, presentando un 16.79 %, en tanto que el sustrato que manifestó menor capacidad de aireación es el sustrato denominado lama, con sólo el 8.25 %; el comportamiento de este último se debe probablemente a que la lama, por su contenido de materia orgánica, la cantidad de gases es menor. En este mismo orden, el cascajo (35.52 %) es el único que coincide con lo mencionado por Martínez y García (1993) y Abad *et al.* (1993), quienes mencionan que la capacidad de aireación deseable en un sustrato para el buen crecimiento y desarrollo del cultivo de jitomate, oscila entre el 30 y 40 % del volumen total (Cuadro 1).

CUADRO 1. Propiedades físicas de tres sustratos en el desarrollo de variedades de jitomate hidropónico e invernadero.

Propiedad Física del Sustrato	Sustrato		
	Arena	Cascajo	Lama
Espacio poroso total (%)	40.77	42.6	44.05
Capacidad de aireación (%)	16.79	35.52	8.25
Agua retenida (%)	23.98	6.54	35.8

Retención de humedad

Considerando que la retención de humedad se refiere al volumen total del sustrato ocupado por agua después de ser saturado y dejado drenar libremente, esta retención está en función de la cantidad de poros capilares que contenga el sustrato (de Boodt *et al.*, 1974), y contrario a lo que se obtuvo con la capacidad de aireación, el sustrato que presentó mayor retención de agua es la lama, al ocupar un 35.8 %, en segundo lugar lo manifestó la arena, con un 23.98 % del espacio poroso total, y el segundo lugar lo ocupó el cascajo, con una retención de agua de tan solo

un 6.54 % del espacio poroso total. De acuerdo a estos datos se puede especular que efectivamente la lama contenga una cierta cantidad de materia orgánica o algún otro tipo de material que haga posible que este sustrato presente la particularidad de retener más agua que los otros sustratos, y esta propiedad física del sustrato, lo perfila como una alternativa viable para usarlo en la hidroponía, independientemente de otras particularidades.

Efecto de los sustratos en el desarrollo vegetativo y reproductivo de las variedades de jitomate

Longitud de la quinta hoja

La longitud de la quinta hoja a partir del nivel del suelo se expresó estadísticamente igual en los sustratos arena y lama, correspondiendo a 30.67 y 31.52 cm, respectivamente, siendo mayores estadísticamente con relación a la longitud inducida por el cascajo, en el que indujo un desarrollo de 28.26 cm (Cuadro 2); esta característica presenta un menor desarrollo de las plantas de jitomate que quizá se pueda deber a que el cascajo por presentar menor retención de humedad (6.54 %), las plantas no dispusieron de la humedad suficiente para su desarrollo óptimo y es probable que la longitud de los entrenudos se haya alongado menos, ya que lógicamente puede tener su efecto en otros caracteres morfológicos importantes de la producción.

Días a floración

En la expresión del carácter días a floración de las tres variedades de jitomate como efecto de los tres sustratos evaluados, los datos no manifestaron diferencias estadísticas significativas, lo que indica que a pesar de el cascajo manifestó menor desarrollo a la quinta hoja, la fisiología para que se expresen otros caracteres, en este caso un carácter de la fructificación, la cantidad de agua disponible en los sustratos no modifica el comportamiento a la diferenciación y desarrollo de las estructuras florales (Cuadro 2).

CUADRO 2. Número total de hojas por planta, longitud de la quinta hoja y días a floración de plantas de jitomate como efecto de tres sustratos utilizados en hidroponía e invernadero.

Sustrato	Longitud de la Quinta Hoja (cm)	Días a Floración	Hojas
Arena	30.67(±1.05) ^z a ^y	72.86(±1.41) a	15.46(±0.95) a
Cascajo	28.26(±0.81) b	74.86(±1.04) a	15.53(±0.87) a
Lama	31.52(±0.92) a	74.66(±1.02) a	13.53(±0.85) a

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Número total de hojas por planta

En cuanto al número de hojas por planta, de la misma forma no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las plantas establecidas en los tres sustratos, lo que indica que esta variable no fue afectada por los sustratos, aunque otros caracteres relacionados con el crecimiento vegetativo pudieran haber sido alterados sin que se hayan evaluado en la presente investigación (Cuadro 2).

Número de racimos por planta

Con relación al número de racimos por planta, los datos estadísticos indican que no hubo diferencias estadísticas entre sustratos, de modo que se puede deducir que las plantas respondieron igual en cada uno de los sustratos evaluados, presentando sólo cinco racimos por planta (Cuadro 3), y al igual que los días a la floración y número de hojas por planta, éstos caracteres difícilmente son alterados por la poca diferencia de las características físicas de los sustratos.

Número de frutos por racimo

Respecto al número de frutos por racimo amarrados por planta desarrollados en los tres sustratos, en arena y lama son estadísticamente iguales correspondiendo a 3.83 y 3.60 frutos respectivamente; considerados éstos, desde el punto de vista estadístico, superiores a los frutos amarrados en las plantas que se desarrollaron en cascajo, ya que sólo presentaron 3.16 frutos por racimo (Cuadro 3), situación que hace suponer que al disponer de menor cantidad de agua por las plantas, la competencia, desde el amarre y posteriormente en el desarrollo de los frutos, el agua puede jugar un papel determinante en el número de frutos por racimo, y que seguramente este carácter tendrá su efecto en la producción, objetivo final de los sustratos evaluados.

Número de frutos por planta

En la variable frutos por planta, se encontró que la mayor cantidad de frutos se presentó en aquellas desarrolladas en arena, con 19.34 frutos; por el contrario, las plantas desarrolladas en cascajo presentaron un menor número de frutos por planta con sólo 16.06; en tanto que en el caso de las plantas desarrolladas en lama, son iguales estadísticamente con la cantidad de frutos producidos en las plantas desarrolladas tanto en arena como en cascajo (Cuadro 3), lo que indica que el sustrato arena puede considerarse, desde el punto de vista de producción, superior con relación a los otros sustratos.

CUADRO 3. Número de racimos por planta, frutos por racimo y frutos por planta de jitomate como efecto de tres sustratos utilizados en hidroponia bajo invernadero.

Sustrato	Racimos por planta	Frutos por racimo	Frutos por planta
Arena	5.00(±0.19) ^z a ^y	3.83(±0.14) a	19.34(±0.83) a
Cascajo	5.20(±0.24) a	3.16(±0.12) b	16.06(±0.60) b
Lama	5.06(±0.18) a	3.60(±0.11) a	18.31(±0.93) ab

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Peso por fruto

En plantas desarrolladas en arena presentaron frutos con un peso de 44.25 g, siendo superior este peso al de los frutos producidos en las plantas desarrolladas en lama y en cascajo, con valores de 40.15 y 33.95 g, respectivamente, aunque desde el punto de vista estadístico no se presentaron diferencias en el peso del fruto de las plantas establecidas tanto en lama como en cascajo y arena (Cuadro 4). Esto significa que la arena como sustrato, posee propiedades físicas más favorables para inducir un mejor desarrollo de los frutos.

Producción por planta

En cuanto a la variable producción por planta, los resultados indican que precisamente las anteriores variables tuvieron su efecto en este carácter, observándose que los sustratos que indujeron los valores más altos, desde el punto de vista estadístico, fueron la arena y la lama, que corresponden a 850.98(±58.72) y 730.01(±41.41) gramos por planta, respectivamente, por lo que se puede deducir que el sustrato que indujo menor producción por planta fue el cascajo, con sólo 539.26(±35.04) gramos por planta (Cuadro 4). Como se analizó anteriormente, esta variable estuvo influenciada por el número de frutos por racimos, frutos por planta y peso promedio de frutos, ya que estas variables tienen un efecto directamente proporcional con la producción, al presentar un mayor número de frutos por planta o frutos con mayor peso que se vio reflejado en una producción más alta.

Estos resultados se pueden deber a que la arena muestra un mejor equilibrio entre la capacidad de aireación y la retención de humedad, pues en un trabajo realizado por Ismail *et al.* (1993), en la que evaluaron arena de río, aserrín, y la mezcla de suelo, encontraron que utilizando arena y aserrín, incrementan significativamente tanto el desarrollo vegetativo como el rendimiento en plantas de jitomate, comparado con la mezcla de suelo. Dicho incremento lo atribuyeron a la mejor aireación del medio como sustrato. Como se comentó anteriormente, es probable que

en el cascajo haya existido una deficiencia de humedad, principalmente por la baja capacidad de retención hídrica del sustrato, esto indudablemente tuvo su efecto en el número de frutos, pero sobre todo, en el peso de los mismos que finalmente se ven reflejados en una menor producción.

En el sustrato lama, a pesar de presentar una baja capacidad de aireación (8.25 %) pero un relativo alto porcentaje de agua retenida, la producción por planta fue también relativamente alta, esto probablemente a que la lama presenta algunas otras propiedades físicas y químicas favorables para el desarrollo de las plantas y que en esta investigación no fueron consideradas.

CUADRO 4. Peso por frutos y producción por planta como efecto de tres sustratos utilizados como medio en plantas de jitomate de hábito determinado en hidroponia bajo invernadero.

Sustrato	Peso por Frutos (g)	Producción por Planta (g)
Arena	44.25(±2.64) ^z a ^y	850.98(±58.72) a
Cascajo	33.95(±2.25) b	539.26(±35.04) b
Lama	40.15(±1.76) ab	730.01(±41.41) a

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Efecto de las variedades de jitomate

Longitud de la quinta hoja

Analizando los resultados por variedad (Cuadro 5), se encontró que en la variable longitud de la quinta hoja existen diferencias estadísticas significativas entre las tres variedades, resultando mayor en la variedad Súper Río Grande, con 33.66 cm, seguido del híbrido HMX2861 F1 con 29.53 y por último, la variedad Lobo con 27.26 cm; estas diferencias indican probablemente que la variedad Súper Río Grande es más vigorosa que las otras variedades, o bien que haya presentado una mejor adaptaciones a estas condiciones.

Días a floración

La floración en la variedad Súper Río Grande se presentó en promedio a los 78.06 días al trasplante y resultó estadísticamente diferente al híbrido HMX2861 F1 en el que se presentó a los 72.8 días y a la variedad Lobo que se presentó a los 71.53 días (Cuadro 5); sin embargo, entre estas últimas no manifestaron diferencias significativas; en el mismo sentido que en el desarrollo vegetativo a la quinta hoja, la variedad Súper Río Grande, de acuerdo a su carácter genético, haya tenido mejor adaptación.

Número total de hojas por planta

En cuanto al número total de hojas por planta, los datos indican que no existen diferencias significativas entre las tres variedades, aunque la variedad Lobo presentó mayor número, correspondiendo a 16.13, en tanto que la variedad que presentó menor número de hojas fue la Súper Río Grande con 13.26 (Cuadro 5).

CUADRO 5. Longitud de la quinta hoja, días a floración y número de hojas por planta de tres variedades de jitomate de hábito determinado desarrolladas en hidroponía bajo invernadero.

Variedad de Jitomate	Longitud de la Quinta Hoja (cm)	Días a Floración	Hojas por planta
'HMX2861' F1	29.53(±0.65) ^z b ^y	72.80(±1.04) b	15.13(±0.98) a
'Súper Río Grande'	33.66(±0.80) a	78.06(±0.93) a	13.26(±0.52) a
'Lobo'	27.26(±0.69) c	71.53(±0.79) b	16.13(±1.01) a

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Número de racimos por planta y frutos por racimo

En cuanto al número de racimos por planta al igual que número de frutos por racimo, son estadísticamente iguales entre las tres variedades, aunque el híbrido HMX2861 F1 presentó una tendencia en presentar un menor número de racimos por planta (Cuadro 6).

Número de frutos por planta

En número de frutos por planta, desde el punto de vista estadístico, son iguales entre la variedad Súper Río Grande y la variedad Lobo, con 18.7 y 19.0 frutos, respectivamente; estos valores son significativamente mayores a los presentados por el híbrido HMX2861 F1 que corresponden solo a 16.0 frutos (Cuadro 6); dichos resultados probablemente se expliquen por el carácter genético de cada variedad.

CUADRO 6. Número de racimos por planta, número de frutos por racimo y número de frutos por planta de tres variedades de jitomate de hábito determinado desarrolladas en hidroponía bajo invernadero.

Variedad de Jitomate	Racimos por planta	Frutos por racimos	Racimos por planta
'HMX2861' F1	4.86(±0.21) ^z a ^y	3.33(±0.15) a	16.01(±0.70) b
'Super Río Grande'	5.20(±0.17) a	3.61(±0.097) a	18.71(±0.62) a
'Lobo'	5.20(±0.22) a	3.65(±0.17) a	19.00(±1.03) a

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Peso por fruto

Con respecto al peso por fruto, se encontró que la variedad que presenta frutos de mayor tamaño es el híbrido HMX2861 F1 con un peso de 42.46 gramos, existiendo diferencia estadística significativa con el peso de frutos de la variedad Lobo, aunque la variedad Súper Río Grande es estadísticamente igual en ambas variedades (Cuadro 7); este dato puede deberse al carácter que cada variedad presenta, por lo que es un factor muy importante a considerar para la producción de variedades de jitomate de hábito determinado en hidroponía e invernadero.

Producción por planta

La producción por planta (Cuadro 7), no mostró diferencias significativas entre las tres variedades, aunque la variedad Súper Río Grande presenta tendencias numéricas a favor de dicha variable, en segundo lugar se encuentra el híbrido HMX2861 F1 y por último la variedad Lobo. Esto puede explicarse ya que las variedades que presentaron mayor número de frutos, el peso de los mismos, es menor, observándose claramente en la variedad Lobo ya que los frutos son relativamente pequeños. Aunque la producción final por planta en cada variedad, es igual estadísticamente, existen diferencias, sobre todo, en el tamaño de los frutos, ya que el híbrido tiene menos frutos por planta pero más desarrollados, y la variedad Lobo tiene más frutos pero más pequeños, que finalmente se compensa un carácter con el otro, obteniendo la misma producción pero cada una con diferente calidad, que puede presentar mayor o menor preferencia para el mercado.

CUADRO 7. Peso por fruto y producción por planta de tres variedades de jitomate de hábito determinado desarrolladas en hidroponía bajo invernadero.

Variedad de Jitomate	Peso por Fruto (g)	Producción por Planta (g)
'HMX2861' F1	42.46(±2.64) ^z a ^y	681.91(±55.95) a
'Súper Río Grande'	40.80(±2.54) ab	766.21(±58.45) a
'Lobo'	35.09(±1.85) b	672.13(±54.68) a

^zError estándar.

^yValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

Producción; efecto de sustratos y variedades de jitomate

La producción obtenida en la combinación de las tres variedades de jitomate dentro de los tres sustratos, los mejores resultados fueron: arena- 'Súper Río Grande', lama- 'Lobo' y arena- 'HMX2861' F1, con 994.52, 839.06 y 824.11 g, respectivamente; en tanto que la menor producción se encontró en las combinaciones: cascajo-

'Lobo' con 443.02 g, cascajo- 'HMX2861' F1 con 575.73 g y cascajo- 'Súper Río Grande' con 599.02 g (Cuadro 8); estos resultados integran la respuesta de cada uno de los factores y caracteres evaluados anteriormente, lo que corrobora que, en términos de calidad de frutos y producción, la arena de río y la variedad Súper Río Grande, superaron a las otras variables en evaluación.

CUADRO 8. Efecto de la producción de tres variedades de jitomate de hábito determinado desarrolladas en tres sustratos diferentes en hidroponía y en invernadero.

Sustrato	Variedad	Producción por Planta (g)
Arena	'Súper Río Grande'	994.52(± 80.72) ² a ^Y
Lama	'Lobo'	839.06(± 68.93) ab
Arena	'HMX2861' F1	824.11(± 124.82) ab
Arena	'Lobo'	734.30(± 73.33) bc
Lama	'Súper Río Grande'	705.08(± 53.32) bc
Lama	'HMX2861' F1	645.89(± 74.27) bcd
Cascajo	'Súper Río Grande'	599.02(± 74.6) cd
Cascajo	'HMX2861' F1	575.73(± 59.78) cd
Cascajo	'Lobo'	443.02(± 14.71) d

²Error estándar.

^YValores con la misma letra por columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

Los mejores sustratos para el desarrollo de plantas de jitomate en hidroponía e invernadero fueron la arena y la lama, ya que presentaron los mejores resultados en cuanto a tamaño de frutos y producción; la arena presenta mejores características físicas en la capacidad de aireación y retención de agua.

El sustrato denominado cascajo, presenta excelente porosidad, sin embargo, muy baja retención de humedad, por lo que en el caso de utilizarse como sustrato, seguramente los riegos tendrán que ser más frecuentes aunque de menor duración.

Las tres variedades de jitomate no presentaron diferencias estadísticas significativas en la producción, sin embargo, la variedad Súper Río Grande es la que mostró una tendencia numérica mayor en la producción, sobre todo porque mostró un equilibrio en el número de frutos y peso de los mismos.

El mejor tratamiento de la combinación sustrato-variedad de jitomate fue presentada por arena- 'Súper Río Grande', lama- 'Lobo' y arena- 'HMX2861' F1; estos resultados presentaron la misma tendencia que la que se

observó en los tres sustratos, sólo que la variedad Lobo se desarrolló mejor en el sustrato lama.

LITERATURA CITADA

- ABAD, M.; NOGUERA, V.; MARTÍNEZ, M. D.; MARTÍNEZ, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- ANÓNIMO. 1995. El jitomate mexicano: complemento del mercado estadounidense. *Claridades Agropecuarias* 25: 3-15.
- BASTIDA TAPIA, A. 2002. Sustratos Hidropónicos. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
- BUNT, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants: a Manual on the Preparation and use of Growing Media for pot Plants. Segunda Edición. Unwin Himan Ltd. London. España. pp. 6-39; 40-63.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). Tercera Edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. pp. 154-163.
- ISMAIL, M. R.; HALIMI, M.S.; JUSOH, K. 1993. Growth and yield of tomatoes as influenced by different substrates, substrate volumes and irrigation frequencies. *Acta Horticulturae* 342: 143-147.
- LEMAIRE, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Horticulturae* 396: 273-284.
- MARTÍNEZ CALDEVILLA, E.; GARCÍA LOZANO, M. 1993. Cultivos Sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Compendio de Horticultura Num. 3. Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 123 p.
- NIETO ÁNGEL, R. 1984. Tulancingo, Oaxaca: Una Comunidad Rural de la Mixteca Alta, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 77 p.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, R.; TABARES RODRÍGUEZ, J. M.; MEDINA SAN JUAN, J. A. 2001. Cultivo Moderno del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda. Edición. Madrid, España. pp. 15-23.
- ROUIN, N.; CARON, J.; PARENT, L. E. 1988. Influence of some artificial substrates on productivity and DRIS diagnosis of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Vedettos). *Acta Horticulturae* 221: 45-49.
- VALDIVIA VALENTÍN, M. A. 1989. Prueba de diferentes sustratos para la producción de jitomate, (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero rústico. Tesis Profesional, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 105 p.
- VERDONCK, O. F.; DE VLEESCHAUWER, D.; DE BOODT, M. 1981. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Horticulturae* 126: 251-258.
- WILSON, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Horticulturae* 172: 151-156.