



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES TIPOS  
DE PIEDRA PÓMEZ PARA LA PRODUCCIÓN  
DE JITOMATE**

**HUMBERTO RAMÍREZ GÓMEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TÉXCOCO, EDO. MÉXICO**

**2015**

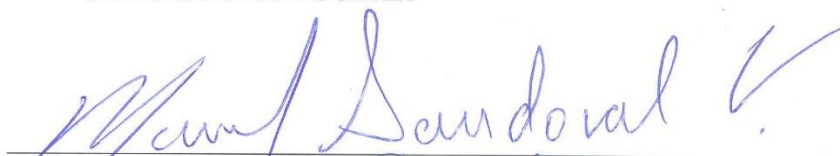
La presente tesis titulada: **CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE PIEDRA PÓMEZ PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE**, realizada por el alumno: **HUMBERTO RAMÍREZ GÓMEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**EDAFOLOGÍA**

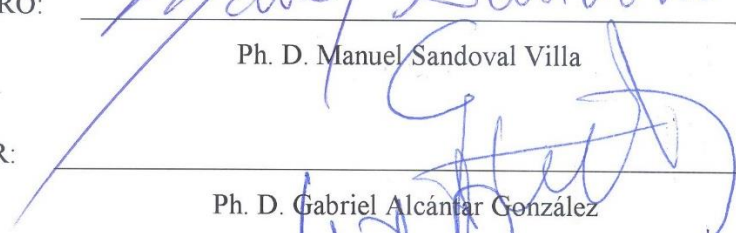
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



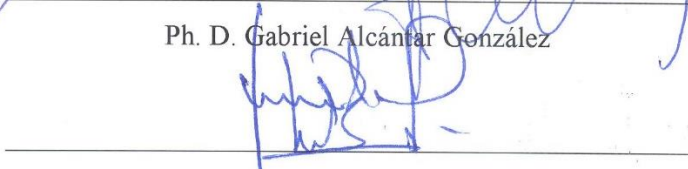
Ph. D. Manuel Sandoval Villa

ASESOR:



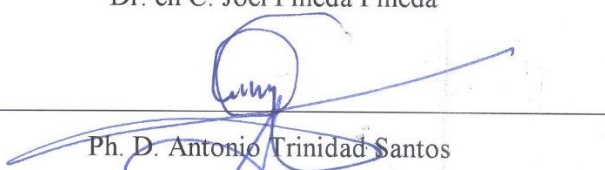
Ph. D. Gabriel Alcántar González

ASESOR:



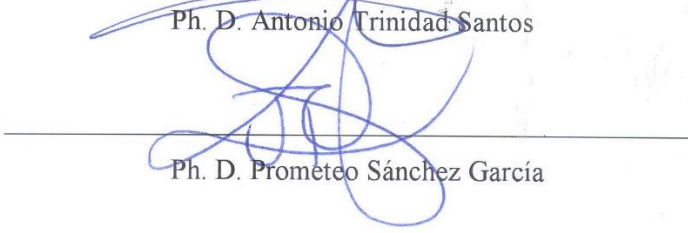
Dr. en C. Joel Pineda Pineda

ASESOR:



Ph. D. Antonio Trinidad Santos

ASESOR:



Ph. D. Prometeo Sánchez García

Montecillo, Texcoco, México, septiembre de 2015

# CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE PIEDRA PÓMEZ PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE

Humberto Ramírez Gómez, D. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Los sustratos hidropónicos en la agricultura protegida ha permitido tener altos rendimientos y de mejor calidad en comparación al suelo. Sustratos importados como la lana de roca o turba son excelentes en sus propiedades físicas, pero solo son utilizados por empresas o productores con mayor capital económico, excluyendo así a los pequeños productores. En México se cuenta con tezontle, piedra pómez, fibra de coco, y otros., que pueden sustituir a los sustratos antes mencionados. Por ello, los objetivos de la presente investigación fueron determinar las propiedades físicas de la piedra pómez, su proporción con otros materiales, y evaluar sustratos bicapa (pómez más fibra de coco, perlita o vermiculita) en el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). El híbrido de tomate SUN7705 se estableció en un invernadero del Colegio de Postgraduados. Las propiedades físicas de sustratos y las variables de calidad se determinaron en laboratorios de la Universidad Autónoma Chapingo. En los tres experimentos, los tratamientos (sustratos) se distribuyeron en un Diseño experimental de Bloques al Azar con seis repeticiones, considerando una maceta como unidad experimental. Se encontró baja densidad aparente (DA) y mayor capacidad de retención de humedad (CRH) y espacio poroso total (EPT) en las piedras pómez y con mezcla de fibra de coco o perlita que en tezontle. Además, se encontraron correlaciones significativas de las mismas pómez, por ejemplo, una  $R^2=0.95$  entre agua total disponible (ATD) y agua fácilmente disponible (AFD). El EPT y la CRH tuvieron correlación estrecha con el agua difícilmente disponible (ADD). La CRH le confiere a la piedra pómez mejores respuestas en diámetro de tallo, tamaño de frutos y rendimiento, pero un ligero decremento en firmeza y acidez del fruto. Estos resultados fueron parecidos a los de la mezcla pómez con fibra de coco o perlita, pero sin cambios en rendimiento. Por el contrario, en sustratos bicapa se tuvieron efectos positivos en rendimiento y acidez del fruto.

**Palabras clave:** sustratos, propiedades físicas, piedra pómez, *Solanum lycopersicum* L.

# CHARACTERIZATION OF DIFFERENT TYPES OF PUMICE FOR THE TOMATO PRODUCTION

Humberto Ramírez Gómez, D. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Hydroponic substrates in protected agriculture has allowed high yields and better quality compared to the soil. Imported substrates as rockwool or peat are excellent in physical properties, but are only used by companies or farmers with greater economic capital, thus excluding small farmers. In Mexico there are red volcanic rock, pumice, coconut fiber, among others substrates, that may replace the above mentioned substrates. Therefore, the objectives of this study were to determine the physical properties of pumice, their proportion with other materials, and evaluate bilayer substrates (pumice more coconut fiber, perlite or vermiculite) on the yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). The hybrid tomato SUN7705 was established in a greenhouse of the Postgraduate College. The physical properties of substrates and quality variables were determined in a laboratory of the Autonomous University of Chapingo. In the three experiments, treatments (substrates) was distributed in an experimental design block with six replications, considering a pot as experimental unit. It was found low bulk density (BD) and higher moisture retention capacity (MRC) and total pore space (TPS) in pumices and with coconut fiber mixture or perlite compared with red volcanic rock. Furthermore, there was a significant correlations of the same pumice, for example, an  $R^2=0.95$  between the total available water (TAW) and easily available water (EAW). The TPS and MRC had close relationship with hardly available water (HAW). HAW gives the best responses in stem diameter, fruit size and yield, but a slight decrease in fruit firmness and acidity. These results were similar to the mixture pumice: coconut fiber or perlite, but there were no changes in yield. In contrast, bilayer substrates influenced positive yield and fruit acidity.

**Keywords:** substrates, physical properties, pumice, *Solanum lycopersicum* L.

*Dedicatoria Especial*

*En memoria a Sandy Paquelin Ramirez Vázquez*

*"Por guiarme y confiar en CRISTO JESÚS, a pesar de las circunstancias".*



*A mis padres: Nicolás Ramirez Gómez y Andrea Gómez Hernández. Gracias por enseñarme los valores, principios, el esfuerzo para alcanzar las metas, el trabajo y la constancia. Los amo con todo mi corazón...*

*A mis hermanos: Javier, Jacobo, Jesús, Santos y Lupita. Por estar conmigo siempre y por animarme a seguir adelante. Los amo.*

*A mis angelitos (sobrinos): Paquito, Lizeth, Mikey y Esmeralda, por la inocencia y dar alegría a la familia.*

*A Patricia Vázquez, Marta Álvarez y Marta Díaz, por compartir sus vidas a lado de mis hermanos.*

## *Agradecimientos*

A **Cristo Jesús**, por ayudarme a terminar la investigación doctoral y por hacerme mejor ser humano.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico para concluir mis estudios de postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados y al programa de Edafología (Nutrición Vegetal)**, por darme la oportunidad de estudiar en una institución de excelencia y calidad.

A mi consejero **Ph. D. Manuel Sandoval Villa**, por ser un amigo. Gracias por su calidad profesional y su motivación para concluir mis estudios.

Al **Ph. D. Gabriel Alcántar González**, por su aportación científica y crítica que mejoraron el trabajo de investigación.

Al **D. en C. Joel Pineda Pineda**, por apoyarme en la caracterización física de los sustratos y por la disponibilidad de su tiempo para revisar y mejorar el escrito.

Al **Ph. D. Antonio Trinidad Santos**, por la calidad profesional y humana, por la acertada visión crítica.

Al **Ph. D. Prometeo Sánchez García**, por la calidad humana, profesional y ser más que un profesor, un amigo. Gracias a la dedicación a este proyecto de investigación.

A **Lauro Soto y familia, Luis Alfonso y familia**. A mis compañeros (as) y profesores del programa de Edafología, en especial en el área de Nutrición Vegetal. Por su puesto, a Laura Santamaría por apoyarme en la parte administrativa.

## CONTENIDO GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. GENERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. ESPECÍFICO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. GENERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2. ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Índices de calidad del tomate .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1. Clasificación de color .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2. Pigmentos durante la fase de maduración.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. Firmeza .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.4. Composición química del tomate.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.5. Antioxidantes.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Concepto de sustrato y propiedades .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1. Caracterización física .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2. Granulometría.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.3. Estructura.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.4. Densidad aparente .....</b>	<b>9</b>

1.2.5.	Densidad real.....	10
1.2.6.	Curva de liberación de agua .....	10
1.2.7.	Agua difícilmente disponible (ADD) .....	10
1.2.8.	Agua de reserva (AR) .....	11
1.2.9.	Agua fácilmente disponible (AFD) .....	11
1.2.10.	Agua total disponible (ATD).....	11
1.2.11.	Capacidad de aireación (CA).....	11
1.2.12.	Espacio poroso total (EPT) .....	11
1.2.13.	Capacidad de retención de agua (CRA).....	12
1.2.14.	Material sólido (MS).....	12
1.3.	Sustratos utilizados en la horticultura .....	12
1.3.1.	Orgánico.....	13
1.3.2.	Inorgánico.....	17
2.	LITERATURA CITADA.....	20
<b>CAPÍTULO II. THE EFFECTS OF PUMICE CHARACTERISTICS ON THE YIELD AND QUALITY OF TOMATOES .....</b>		<b>25</b>
2.1.	INTRODUCTION.....	26
2.2.	MATERIALS AND METHODS.....	27
2.3.	RESULTS AND DISCUSSION.....	31
2.4.	CONCLUSIONS.....	45



2.5. REFERENCIAS.....	46
<b>CAPÍTULO III. EFECTO DE LA RELACIÓN PIEDRA PÓMEZ, FIBRA DE COCO Y PERLITA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)</b>	<b>52</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	53
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
3.4. CONCLUSIONES.....	67
3.5. LITERATURA CITADA .....	68
<b>CAPÍTULO IV. PÓMEZ CON DOBLE CAPA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) EN HIDROPONÍA E INVERNADERO .....</b>	<b>74</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	75
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	76
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	80
4.4. CONCLUSIONES.....	88
4.5. LITERATURA CITADA .....	89
5. DISCUSIÓN GENERAL .....	94
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	96
7. LITERATURA CITADA.....	97

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA</b>		<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Escala de colores relativos a los grados de madurez de tomate (USDA, 1991).....		4
<b>Cuadro 2.</b> Composición del tomate en estado verde y maduro en 100 g de pulpa en fresco (Jones, 1999).....		7
<b>Cuadro 3.</b> Composición del fruto de jitomate en diferentes estados de maduración (Cantwell, 2007).....		8
<b>CAPÍTULO II. THE EFFECTS OF PUMICE CHARACTERISTICS ON THE YIELD AND QUALITY OF TOMATOES</b>		
<b>Table 1.</b> Physical properties of pumice substrate from different locations in Mexico.....		33
<b>Table 2.</b> Effect of the substrates of volcanic origin on the yield variables of the tomato hybrid SUN7705 cultivated in a greenhouse.....		36
<b>Table 3.</b> Effect of pumice on the quality of hybrid tomato SUN7705 fruits cultivated in the greenhouse.....		39
<b>CAPÍTULO III. EFECTO DE LA RELACIÓN PIEDRA PÓMEZ, FIBRA DE COCO Y PERLITA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE</b>		
<i>(Solanum lycopersicum L.)</i>		
<b>Cuadro 1.</b> Propiedades físicas de las mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per).....		59

<b>Cuadro 2.</b> Efecto de mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) en las variables tallo, diámetro ecuatorial y polar del fruto y rendimiento del tomate SUN7705.....	61
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de la mezcla de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) en la calidad del tomate SUN7705.....	64

**CAPÍTULO IV. PÓMEZ CON DOBLE CAPA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN HIDROPONÍA E INVERNADERO**

<b>Cuadro 1.</b> Propiedades físicas de los sustratos utilizados en el experimento.....	78
<b>Cuadro 2.</b> Caracterización de frutos y planta de tomate cultivado en sustratos con doble capa.....	82
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de los sustratos con doble capa sobre color, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y ácido ascórbico (ÁA) en frutos de tomate.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Cambio bioquímico del jitomate de acuerdo a su estado de maduración (Zeidan, 2005).....	6
<b>Figura 2.</b> Curva de liberación de agua para sustratos (De Boot <i>et al.</i> , 1974).....	12
<b>Figura 3.</b> Clasificación de los sustratos de acuerdo con Cruz-Crespo <i>et al.</i> (2013).....	13
<b>CAPÍTULO II. THE EFFECTS OF PUMICE CHARACTERISTICS ON THE YIELD AND QUALITY OF TOMATOES</b>	
<b>Figure 1.</b> Water retention curve of pumice. PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$ mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$ mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$ mm).....	34
<b>Figure 2.</b> Correlation coefficients between the physical properties of pumice. HAW = hardly available water, BD = bulk density, MRC = moisture retention capacity, TPS = total pore space, CA = capacity of aeration, EAW = easily available water, TAW = total available water.....	35
<b>Figure 3.</b> Yield per plant of the tomato SUN7705 cultivated in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$ mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ =	

pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm)..... 38

**Figure 4.** Fruit firmness in red tomato SUN7705 cultivated in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm)..... 41

**Figure 5.** Titratable acidity in tomato SUN7705 fruits produced in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm)..... 42

**Figure 6.** Weight loss of SUN7705 tomato fruits cultivated in pumice over 20 days. PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm)..... 44

**CAPÍTULO III. EFECTO DE LA RELACIÓN PIEDRA PÓMEZ, FIBRA DE COCO Y PERLITA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

**Figura 1.** Curva de liberación de agua de las mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) utilizados en la producción de tomate SUN7705 bajo diferentes tensiones..... 60

**Figura 2.** Firmeza de frutos de tomate SUN7705 cultivado en piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per)..... 67

**CAPÍTULO IV. PÓMEZ CON DOBLE CAPA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN HIDROPONÍA E INVERNADERO**

**Figura 1.** Rendimiento por planta de jitomate cultivado en sustratos con doble capa. P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México; Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita. Letras distintas en cada barra indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ )..... 84

**Figura 2.** Acidez titulable de jitomate producido en sustratos de doble capa. P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México, Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita..... 88

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC), la agricultura protegida mexicana es una industria presente en las 32 entidades federativas del país con una extensión superior a 21, 530 ha que corresponde a 30, 932 instalaciones productivas (Ramos, 2014). México se ubica como la séptima potencia mundial en producción de hortalizas bajo invernadero, por encima de los Países Bajos (9, 820 ha), Francia (9, 790 ha) y Estados Unidos (8, 425 ha). El 50% de la superficie protegida se concentra en tres estados: Sinaloa (4,736 ha, 22%), Jalisco (3,230 ha, 15%) y Baja California (2, 584 ha, 12%). La AMHPAC señala que el crecimiento de la agricultura protegida en México es de 1,200 ha por año, predominando casas sombra e invernaderos de baja tecnología. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son tomate (70%), pimiento (16%), pepino (10%) y otros (4%). Se estima que el 80% de la producción de hortalizas bajo invernadero se destina a los Estados Unidos. Con la producción del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero se obtienen mayores rendimientos y de excelente calidad. Debido al incremento de superficie bajo agricultura protegida y a las limitantes físicas, químicas y biológicas de los suelos, se ha dado una sustitución gradual del suelo por sustratos hidropónicos (Pineda *et al.*, 2012). Actualmente se comercializan sustratos de características y orígenes diversos, de forma pura o en mezclas de dos o más materiales, que buscan satisfacer las necesidades específicas de cada cultivo; sin embargo, sus altos precios (varios de ellos son de importación) limitan su acceso y uso a muchos productores (Maher *et al.*, 2008). En México se dispone de varios materiales orgánicos e inorgánicos utilizados como sustratos hidropónicos, entre los que se encuentran: tezontle, piedra pómez, jal, fibra de coco (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015). Sin embargo, el estudio de las distintas piedras pómez en México es limitado para la producción y calidad del tomate.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

Determinar el efecto de la piedra pómez, relación piedra pómez con fibra de coco y perlita y sustratos bicapa en el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en hidroponía e invernadero.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- A. Determinar las propiedades físicas de distintas piedras pómez en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía e invernadero.
- B. Evaluar las propiedades físicas de la relación piedra pómez, fibra de coco y perlita sobre el rendimiento y calidad de tomate.
- C. Evaluar los sustratos bicapa (piedra pómez más fibra de coco, perlita o vermiculita) en el rendimiento y calidad de tomate.



### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1. GENERAL**

Las distintas piedras pómez, la relación piedra pómez con fibra de coco y perlita, y el uso de sustratos bicapa afectan el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en hidroponía e invernadero.

#### **3.2. ESPECÍFICAS**

- A. Las propiedades físicas de las piedras pómez son distintas, por lo tanto, afectan el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía e invernadero.
- B. Las propiedades físicas de la mezcla de sustratos piedra pómez con fibra de coco y perlita cambian la producción y calidad de tomate.
- C. El uso de sustratos en bicapa (piedra pómez más fibra de coco, perlita o vermiculita) modifican el rendimiento y calidad de tomate.

## CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1. Índices de calidad del tomate

La calidad del tomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial.

#### 1.1.1. Clasificación de color

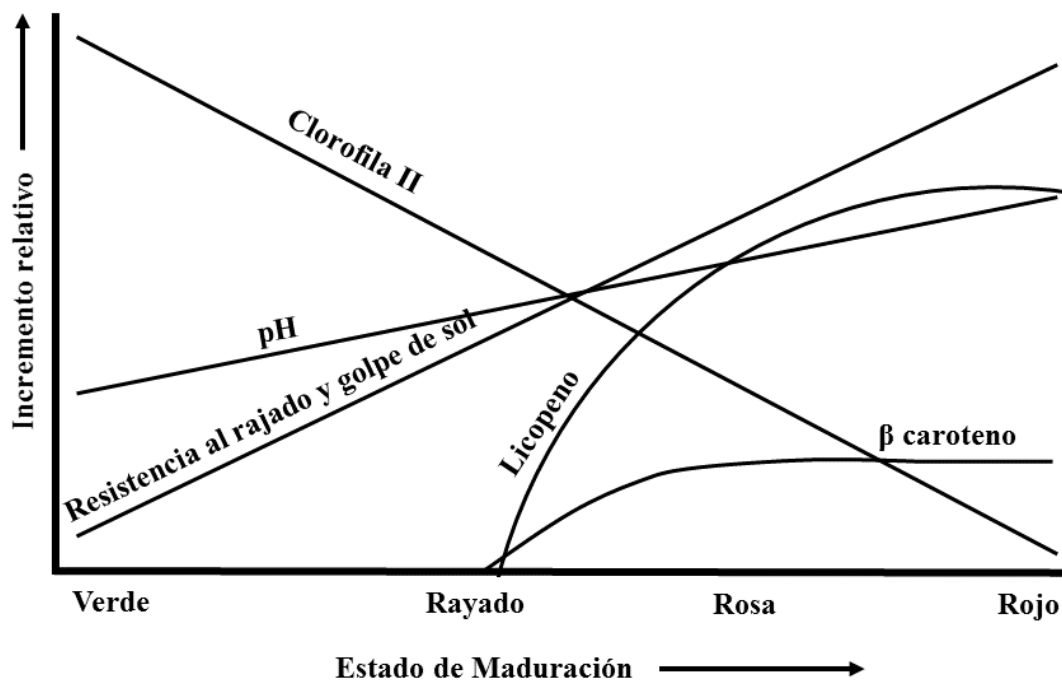
Los siguientes términos se utilizan como un indicador del estado de maduración para cualquier tomate rojo. De acuerdo con la USDA (1991) se clasifican en seis categorías (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Escala de colores relativos a los grados de madurez de tomate (USDA, 1991).

Maduración	Descripción del fruto
Verde maduro	La superficie del tomate está completamente verde. El tono de color verde puede variar de claro a oscuro.
Quebrante	Existe un cambio marcado de color verde a amarillo con rosa claro o rojo que cubre no más del 10% de la superficie del fruto.
Rayado	Del 10 al 30% de la superficie muestra un cambio de color amarillo, rosa o rojo, o una combinación de éstos.
Rosa	Del 30 al 60% de la superficie presenta un color rojo rosado o rojo.
Rojo claro	Del 60 al 90% de la superficie presenta un color rojo.
rojo	Más del 90% de la superficie del fruto muestra un color rojo.

### **1.1.2. Pigmentos durante la fase de maduración**

La maduración del tomate es un proceso bioquímico complejo en el que la clorofila y el contenido de almidón disminuyen, pero se tiene un incremento de la enzima poligalacturonasa de reblandecimiento y licopeno (Jones, 2008). Después de que el fruto ha alcanzado la etapa verde madura, comienza cambios rápidos en los frutos. La clorofila desaparece gradualmente, y al mismo tiempo, pigmentos como el licopeno y  $\beta$ -caroteno comienzan a sintetizarse. La concentración de  $\beta$ -caroteno alcanza un nivel máximo en maduración rosa, mientras que el licopeno se incrementa hasta la maduración roja, e incluso en etapa avanzada. El tiempo que tarda el fruto en pasar de verde maduro hasta rojo es de aproximadamente diez días. De acuerdo con Zeidan (2005) no existe cambios significativos en el contenido de vitamina C y de sólidos solubles totales (SST) durante el proceso de maduración, aunque en variedades con una fruta más pequeña, el azúcar continúa acumulándose en las etapas de maduración avanzada. El aroma y sabor se aumentan durante el proceso de maduración, pero durante el proceso la fruta tiende a ser menos firme. Una fruta roja presenta menor daño cuando es expuesta al sol. No obstante, una verde es severamente dañada. Asimismo, el nivel de pH se disminuye gradualmente durante las etapas finales de maduración, esto debido al aumento de ácidos cítrico y málico.



**Figura 1.** Cambio bioquímico del jitomate de acuerdo a su estado de maduración (Zeidan, 2005).

### 1.1.3. Firmeza

Después del color, la firmeza es un factor importante de la calidad del tomate, la cual está estrechamente asociada con el estado de madurez. A medida que avanza la maduración de la fruta se disminuye la firmeza por disolución de la lámina media de las paredes celulares (Siller y Báez, 2009). La firmeza se puede medir con un penetrómetro o medidor de presión y es expresada en Newton, kilogramo, libra, etc. Los frutos con más de 11 N en maduración roja se consideran muy firmes, por lo tanto, tienen mayor vida de anaquel.

### 1.1.4. Composición química del tomate

El tomate contiene de 6.5 a 7% de materia seca, de esta 1% es epidermis y semillas. Alrededor del 50% de la materia seca consiste en azúcares reductores (principalmente glucosa y fructosa),

mientras que la parte restante es de sólidos insolubles en alcohol, ácidos orgánicos, minerales, pigmentos, vitaminas, y lípidos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Composición del tomate en estado verde y maduro en 100 g de pulpa en fresco (Jones, 1999).

Componente	Verde	Maduro
Agua (%)	93.00	93.50
Calorías	24.00	22.00
Proteína (g)	1.20	1.10
Grasa (g)	0.20	0.20
Carbohidratos totales (g)	5.10	4.70
Carbohidratos fibra (g)	0.50	0.50
Ceniza (g)	0.50	0.50
Calcio (mg)	13.00	13.00
Fósforo (mg)	27.00	27.00
Hierro (mg)	0.50	0.50
Sodio (mg)	3.00	3.00
Potasio (mg)	244.00	244.00

### 1.1.5. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que neutralizan los radicales libres culpables del envejecimiento prematuro, el cáncer, las cataratas, el mal de Parkinson, la arteriosclerosis y la artritis, entre otras enfermedades (Siller y Báez, 2009). La composición importante del tomate con respecto a otras frutas y verduras es por su alto contenido de licopeno (Riso y Porrini, 2001). Pero también contienen  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\xi$ -caroteno, luteína, neurosporeno, fitoeno y fitoflueno. El contenido de

licopeno puede variar mucho dependiendo de la variedad y el estado de maduración de los tomates (Cuadro 3) Además, es el responsable del color rojo del fruto (Cantwell, 2007).

**Cuadro 3.** Composición del fruto de jitomate en diferentes estados de maduración (Cantwell, 2007).

Estado de madurez	SST	AR	AT	pH	B caroteno	Licopeno	ÁA
	-----%-----				( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ )
Verde	2.37	0.81	0.28	4.20	0.00	0.00	12.50
Rosa	2.42	0.85	0.39	4.17	0.40	0.52	18.00
Roja	5.15	1.62	0.43	4.12	4.33	48.30	22.50

SST: sólidos solubles totales, AR: azúcares reductores, AT: acidez titulable, ÁA: ácido ascórbico.

## 1.2. Concepto de sustrato y propiedades

Es todo material sólido, natural o de síntesis, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla, permite el crecimiento y desarrollo radicular del cultivo. Además, puede intervenir o no en la nutrición de la planta (Abad y Noguera, 2000). Como sucede con los suelos, también los sustratos es importante realizar análisis químicos, físicos y biológicos. Pero la parte física es más importante que el resto, debido a que los nutrientes son suministrados a través de la solución nutritiva (Castellanos y Vargas, 2009).

### **1.2.1. Caracterización física**

Estudia la distribución granulométrica del material sólido, agua y aire, y de las variantes de la capacidad de retención de humedad. El estudio físico de los sustratos implica la granulometría, espacio poroso y densidades, así como de la relación de agua y aire.

### **1.2.2. Granulometría**

Es la proporción de diámetros de las partículas de los sustratos. Las partículas finas menores a 0.5 mm retienen gran cantidad de agua, pero están mal aireados. Por el contrario, partículas superiores a 1 mm retienen poca agua y es pérdida de fertilizantes en sistemas abiertos.

### **1.2.3. Estructura**

En general puede ser granular o fibrilar. La primera se acopla con facilidad al contenedor y la segunda depende de las características de la fibra (Cánovas y Magán, 2003). Los sustratos hidropónicos deben ser muy estables, es decir, se prefieren materiales resistentes a la descomposición como las gravas volcánicas o productos de transformación industrial como la vermiculita, perlita, lana de roca, etc.

### **1.2.4. Densidad aparente**

Se define como la relación entre la masa del material sólido seco, por unidad de volumen expresada en  $\text{g cm}^{-3}$ . Es un indicador indirecto de la porosidad del sustrato y se prefiere que sean bajos ( $0.07$  a  $0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ).

### **1.2.5. Densidad real**

Se refiere a la relación entre la masa del material sólido seco (105 °C) y el volumen real ocupado por las partículas que la forman, sin incluir el espacio poroso. En forma general, la densidad real de los sustratos orgánicos es de 1.5 g cm<sup>-3</sup> y para inorgánicos de 2.65 g cm<sup>-3</sup> (Castellanos y Vargas, 2009). Con los valores determinados en laboratorio de la densidad real y la densidad aparente se pueden calcular el espacio poroso total de sustrato.

### **1.2.6. Curva de liberación de agua**

El concepto de curva de liberación de agua fueron establecido por De Boodt, Verdonck y Cappaert a principios de los años 70's en la Universidad de Gante (Bélgica) para sustratos orgánicos (Figura 2), basándose en establecer tensiones a los sustratos situados en embudos de Haines mediante un sistema de vasos comunicantes. Fijaron límites de esta curva entre 0 y 100 cm de tensión y definieron la siguiente nomenclatura:

### **1.2.7. Agua difícilmente disponible (ADD)**

Es el agua, en tanto por ciento en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua. Aunque no se ha reportado el valor óptimo se conoce que esta agua puede ser aprovechada por la planta en condiciones de estrés. No se debe descartar que el tamaño y tipo de poros de los sustratos juega un papel importante de las relaciones de agua y aire. Por ejemplo, poros de 2 a 10 μm son los responsables del ADD (Cadahia, 2005).



### **1.2.8. Agua de reserva (AR)**

Es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato. Debe ser entre 4 a 10% en volumen.

### **1.2.9. Agua fácilmente disponible (AFD)**

Es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de tensión en columna de agua sobre el sustrato. Se sugiere que para todos los sustratos en general, tengan entre 20 y 30% en volumen.

### **1.2.10. Agua total disponible (ATD)**

Se define como la suma del AFD y el AR, su valor óptimo va del 25 al 40% del volumen del sustrato.

### **1.2.11. Capacidad de aireación (CA)**

Es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua sobre el sustrato, o tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua. El nivel óptimo oscila entre el 20 y 30% con base a volumen, y en sustratos inorgánicos puede ser del 25 y 35%.

### **1.2.12. Espacio poroso total (EPT)**

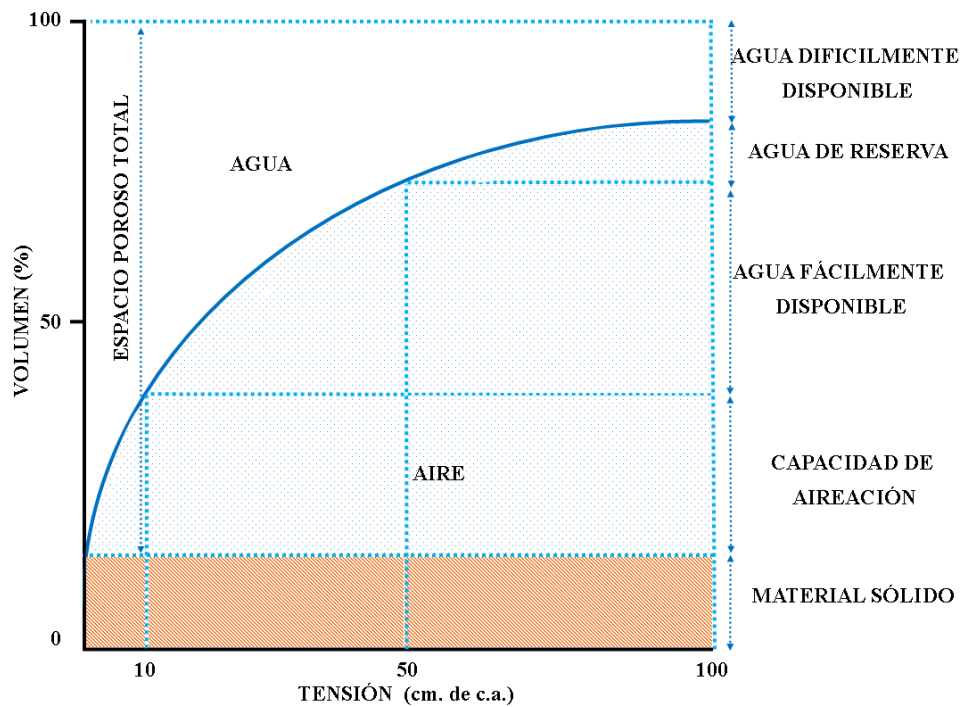
Es el espacio de aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD y CA y se determina a partir de las densidades real y aparente. Se considera óptimo valores por encima del 85%.

### 1.2.13. Capacidad de retención de agua (CRA)

Su valor óptimo varía de 50 a 70% en volumen y solo se consigue con sustratos orgánicos, en el caso de sustratos inorgánicos este valor es menos.

### 1.2.14. Material sólido (MS)

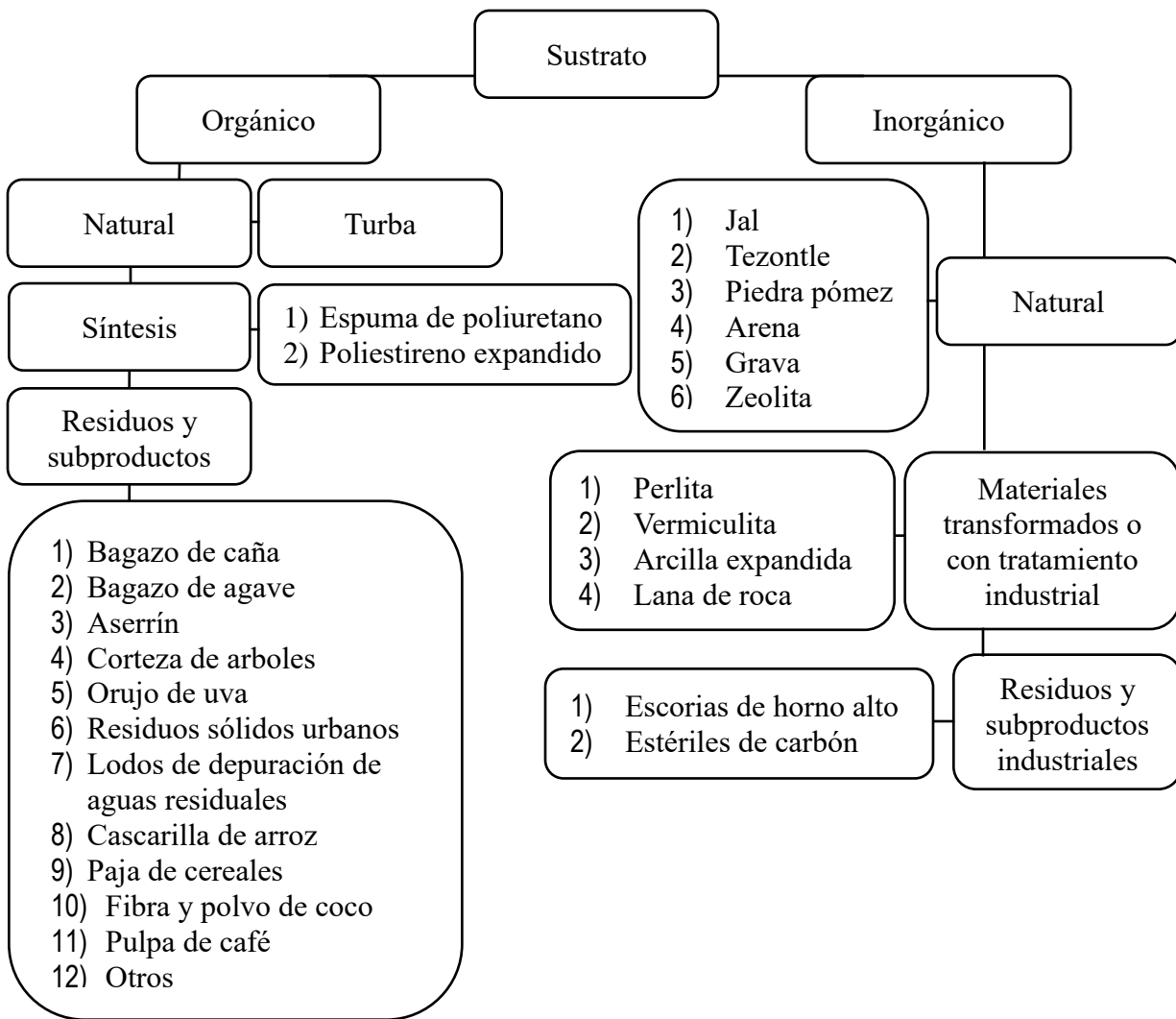
Es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.



**Figura 2.** Curva de liberación de agua para sustratos (De Boot *et al.*, 1974).

### 1.3. Sustratos utilizados en la horticultura

Los sustratos se clasifican de forma general en orgánicos e inorgánicos (Burés, 1997). Pero Cruz-Crespo *et al.* (2013) realiza una clasificación detallada (Figura 3).



**Figura 3.** Clasificación de los sustratos de acuerdo con Cruz-Crespo *et al.* (2013).

### 1.3.1. Orgánico

#### 1.3.1.1. Vermicompost

El vermicompost se refiere a la crianza de lombrices para la producción de humus de lombriz con la finalidad de utilizar este material como abono en plantas (Contreras *et al.*, 2001). Los materiales comúnmente usados para la alimentación de las lombrices son: desechos agrícolas, residuos sólidos municipales, varios tipos de abono animal, desechos domésticos, lodos de aguas negras,

especialmente de tipo biológico aeróbico y algunas mezclas de estos materiales (Capistrán *et al.*, 2004).

#### **1.3.1.2. Turba**

Desde el punto de vista edafológico, la turba se define como la forma disgregada de la vegetación de un pantano (Martínez *et al.*, 2005). Debido a la descomposición incompleta por exceso de agua y a la falta de oxígeno, se va depositando con el transcurso del tiempo en su sitio de origen. Se considera como sustrato universal debido a las cualidades físicas que presenta, ya que actúa como una esponja gracias a su componente principal, el musgo *Sphagnum* sp., el cual está libre de patógenos y permite ser utilizado sin necesidad de una desinfección previa. El material turbífero que llega a México proviene de Canadá y de Estados Unidos. la turba más usada en la horticultura es la rubia, la cual tiene una DA de 0.04 a 0.08 g cm<sup>-3</sup>, un EPT de 95 a 97%, una CA de 15 a 40%, un porcentaje de AFD de 25%, una CRA de 55 a 80%, una capacidad de intercambio catiónico de 100 a 140 me 100 g<sup>-1</sup>. No presenta salinidad y en su forma natural es ácida, generalmente es neutralizada con la aplicación de carbonato de calcio (Castellanos y Tapia, 2009).

#### **1.3.1.3. Fibra de coco**

Sus principales componentes son la celulosa y lignina. Esta última, provee la resistencia y rigidez a la fibra. Se encuentra dentro de la categoría de fibras fuertes igual que el henequén, pita, agave y abacá. La fibra de coco ha venido ampliado su participación en el mercado y actualmente es el material preferido en muchas áreas cultivadas en cultivo sin suelo (Resh, 2015). Entre los sustratos agrícolas que se pueden conseguir en el mercado, la fibra de coco está siendo la que mayor incremento de utilización tiene, por parte del agricultor. La razón básica de este rápido incremento

del consumo-utilización es debido a sus excelentes propiedades físicas, las cuales son las más próximas que se conocen para un sustrato ideal. Este sustrato se obtiene a partir de la parte externa del fruto del cocotero, mediante un proceso de trituración y cribado.

#### **1.3.1.4. Cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz se ha utilizado principalmente para aumentar el espacio poroso en los sustratos (Quintero *et al.*, 2012). Como sustrato se utiliza en fresco o tras sufrir un proceso de descomposición y/o quemado. La cascarilla de arroz tostada es considerada un buen material en su uso como sustrato (Papafotiou *et al.*, 2001), ya sea sola o mezclada con otros subproductos (Yahya *et al.*, 2009). Es un material económico y subproducto de las áreas arroceras (Quintero *et al.*, 2006).

#### **1.3.1.5. Bagazo de caña**

El bagazo de la caña de azúcar es un residuo de la industria azucarera que está disponible en grandes cantidades. Es un desecho que queda después de la molienda de la caña de azúcar. Está formado por un conjunto de partículas de diferentes tamaños cuyo promedio oscila alrededor de 2 a 2.5 mm el resto consta de sólidos solubles e insolubles. Es utilizado normalmente como combustible en las calderas que le dan energía a los ingenios (Leeson y Summers, 2000).

#### **1.3.1.6. Bagazo de agave**

Es un material de aspecto fibroso con altos contenidos de humedad y azúcares. México genera residuos agroindustriales y uno se encuentra el bagazo de agave de *Agave tequilana* Weber var. Azul. Este es un desecho derivado del proceso para la producción del Tequila y del cual se generan

miles de toneladas anualmente, por lo que su disposición representa un problema para la industria. Sin embargo, se ha demostrado que es factible convertirla en diferentes productos como biocombustible, alimento animal, compostas (González *et al.*, 2005).

#### **1.3.1.7. Pulpa de café**

La pulpa del café es un material de desecho que procede de la industria del café. En los países productores de café, los residuos y sub-productos del café constituyen una fuente de grave contaminación y problemas ambientales. La pulpa de café es un buen fertilizante puesto que es rica en materia orgánica, nitrógeno y potasio. Algunos agricultores extienden la pulpa parcialmente descompuesta o fresca alrededor de sus plantas de café. No obstante, esto puede causar problemas de transporte y distribución de la pesada pulpa húmeda, y conducir a problemas de olores. Se ha empleado la técnica del compostaje mediante la cual, los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable. Este proceso tarda normalmente de 5 a 9 meses, tiempo en el cual se alcanza el grado de madurez al realizar la biotransformación, mineralización o degradación completa de la pulpa del café.

#### **1.3.1.8. Aserrín de pino**

El serrín de pino (*Pinus* sp.), que proviene de la industria maderera, es un material que tiene potencial como sustrato. Las propiedades físicas del serrín dependen del tamaño de sus partículas y se recomienda que del 20-40% sean inferiores a 0.8 mm. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.1 a 0.45 g cm<sup>-3</sup>. La porosidad total es superior al 80%, la capacidad de retención de agua es baja a media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada (Maher *et al.*, 2008). La

ventaja principal del serrín es su bajo costo, pero al ser un material orgánico entra en descomposición, lo que reduce su vida útil como sustrato (Pineda *et al.*, 2012).

### **1.3.2. Inorgánico**

#### **1.3.2.1. Tezontle**

El tezontle es un material procedente de la erupción de volcanes y está constituido por silicatos de silicio y de aluminio, formado por fragmentos de lava porosa, redondos e irregulares. Es un material inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es baja, presenta buena aireación y su retención de humedad varía con el diámetro de las partículas; generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física, además se adquiere a bajo costo (Ojodeagua *et al.*, 2008). De acuerdo con Vargas *et al.* (2008), mencionan que la DA y la DR aumentan conforme se disminuye el tamaño de la partícula; mientras que el EPT se incrementa con el incremento de la granulometría. En México, existe tezontle negro y rojo, pero este último es el más usado en la producción ornamental y hortícola.

#### **1.3.2.2. Piedra pómez**

La piedra pómez es un material disponible en nuestro país, su origen es volcánico. Se puede encontrar en el eje neo volcánico de México y en algunos estados por ejemplo: Estado de México, Veracruz, Colima, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Puebla, Tabasco y Chiapas (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015). Su composición química en su mayoría es de óxido de silicio (70%), óxido de aluminio (14%), entre otros. Posee muy buena retención de humedad y capacidad de aireación, se obtiene en distinta granulometrías, posee además buena estabilidad física y durabilidad, desde

el punto de vista biológico es completamente estéril y está libre de semilla de malezas. Pero es necesario su caracterización física ya que pueden ser diferentes de acuerdo a cada sitio (Gizas y Savvas, 2007).

#### **1.3.2.3. Zeolita**

El término de zeolita proviene de las palabras griegas zein (hierve) y lithos (piedra) que significa “piedra que hierve”. El término se aplica a un grupo de aluminosilicatos con estructura porosa, que presenta alta capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico, su origen es ígneo por enfriamiento de la lava basáltica. Entre los cationes que pueden intercambiarse está el calcio, potasio, sodio y magnesio, los cuales, podrían ser aprovechados por las plantas cuando se emplea como sustrato en cultivos hidropónicos (Urbina *et al.*, 2011). En México se han encontrado yacimientos de zeolita en varios estados, siendo los más importantes los de Oaxaca, constituidos por las zeolitas mordenita y clinoptilolita (Ostroumov *et al.*, 2005).

#### **1.3.2.4. Lana de roca**

Se obtiene a partir de la fundición de rocas diabasa y piedras caliza (con presencia de calcio, magnesio y microelementos) a temperaturas superiores de 1,600 °C. Después de la fundición se hacen pasar por rotores que giran a alta velocidad, formando una fibra que finalmente es comprimida en planchas. Es un sustrato inerte, uniforme, sin capacidad de intercambio catiónico y tiene una densidad aparente de 0.07 g cm<sup>-3</sup>. Además, presenta un EPT de 97%, una CA de 36%, una proporción de AFD de 59% y 0.3% de AR (Castellanos y Vargas, 2009). Las empresas españolas y holandesas dedicadas a la horticultura la utilizan con frecuencia.



### **1.3.2.5. Vermiculita**

La vermiculita expandida es una mica que se obtiene a través de un proceso de calentamiento y posee una forma esponjosa. El calentamiento asegura que el material sea estéril. Por la forma irregular de las partículas se crea espacios vacíos para retener gran cantidad de agua y de proveer oxígeno disponible para las plantas. La vermiculita usada para cultivos hortícolas se clasifica en cuatro grados, desde el material grueso (0.5 a 0.6 cm.) hasta el fino con tamaño de partícula de 1 mm. El material grueso es utilizado para el cultivo hidropónico y el fino para la germinación de la semilla (Resh, 2015).

### **1.3.2.6. Perlita**

La perlita es una roca volcánica vítrea (silicato de aluminio) formada por el enfriamiento rápido; es un material amorfo que contiene entre 2 y 5% de agua atrapada. Este mineral en su manipulación industrial, es tamizado y precalentado a 300-400 °C y es vertida en hornos a 1000 °C, formando una espuma blanca, ligera y estéril (Landis *et al.*, 1990). La perlita es ligera, tiene una densidad aparente (DA) de 0.1 g cm<sup>-3</sup>. Su EPT va de 74 a 85%, es decir, tiene poros entre partículas; macroporos (0.01 a 1.00 mm) y mesoporos (0.05 a 0.01 mm), e intra partículas (microporos <0.05 mm) (Anicua *et al.*, 2009).

## 2. LITERATURA CITADA

- Abad, M. y P. Noguera. 2000.** Los sustratos en cultivos sin suelo. In: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (Ed). Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones. 137-182 pp.
- Burés, S. 1997.** Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 342.
- Anicua, S. R., Ma. C. Gutiérrez C., P. Sánchez G., C. Ortiz S., V. H. Volke H. y J. E. Rubiños P. 2009.** Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México 35: 147-156.
- Cadahía, L. C. 2005.** Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Cánovas, M. F. y J. J. Magán C. 2003.** Cultivos sin suelo *In:* Técnicas de producción en cultivos protegidos, II. Ed. F. Camacho F. Instituto Cajamar, Almería, España.
- Cantwell M., S, Stoddard, M. LeStrange and B. Aegerter. 2007.** Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. UCCE Fresh Market Tomato Variety Trial 2006 Postharvest Evaluation. UC Davis CA. USA. 16 p.
- Capistrán, F., E. Aranda, J. Romero. 2004.** Manual de reciclaje, Compostaje y lombricultura. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz.
- Castellanos, Z. J. y P. Vargas T. 2009.** Los sustratos en la horticultura protegida *In:* Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. J. Z. Castellanos. Intagri. Celaya, Guanajuato, México.
- Contreras, S., M. Reines, J. Loza. 2001.** Lombricultura. Conocer y cuidar las lombrices para obtener abono orgánico. Fundación Produce Jalisco, A.C. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montoya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López. 2012.** Sustratos en la horticultura. *Revista Biociencias* 2: 17-26.
- De Boodt, M., O. Verdonck, and J. Cappaert. 1974.** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticultura* 37: 2054-2062.
- Gizas, G. and D. Savvas. 2007.** Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42:1274–1280.
- González, G. Y., O. González R. y J. Nungaray A. 2005.** Potencial del bagazo de Agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis* 3: 1-18.
- Jones, J.B., Jr. 1999.** *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Jones, B. Jr. 2008.** Fruit characteristics *In: Tomato plant culture*. Second Edition. Ed. B. Jones Jr. Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton, FL. USA.
- Landis, T. D. 1990.** Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Vol. 2. USDA. EUA. p. 46-92.
- Leeson, S. and Summers, J. 2000.** *Nutrición Aviar Comercial*. Editorial Le'Print Club Express Ltda. Bogotá, Colombia. 43-45 p.
- Maher M., Prasad M., and Raviv M. 2008.** Organic soilless media components. In: Raviv M., Lieth J.H. (eds) *Soilless culture: Theory and practice*. Oxford: Elsevier 459–504 p.
- Martínez, A. M., J. Torres y A. Campos. 2005.** estudio del régimen de humedad de tres tipos de turba en la etapa de propagación de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomía Colombiana* 23: 154-164.

- Ojodeagua A. J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina C., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008.** Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 367-374.
- Ostroumov, H. F., H. Ortiz y C.P. Corona. 2005.** Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones. [http:// smm.iim.umich.mx/zeolitas.htm](http://smm.iim.umich.mx/zeolitas.htm). (Consultada: noviembre de 2015).
- Papafotiou, M., J. Chronopoulos, G. Kargas, M. Voreakou, N. Leodaritis, O. Lagogiani y S. Gazi. 2001.** Cotton gin trash compost and rice hulls as growing medium components for ornamentals. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76: 431-435.
- Pineda P. J., F. Sánchez del Castillo., A. Ramírez A., A. Ma. Castillo G., L.A. Valdés A. y E. del C. Moreno P. 2012.** Serrín de pino como sustrato hidropónico I. Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:95-111.
- Quintero, M.F., C.A. González y V.J. Flórez-Roncancio. 2006.** Evaluación de las características hidrofísicas de los sustratos cascarilla de arroz quemada, fibra de coco y sus mezclas. pp. 451-462. *In:* Flórez R., V.J., A.C. Fernández M., D. Miranda L., B. Chávez C., J.M. Guzmán P. (eds.). *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Quintero, M. F., J. M. Guzmán P. y J. L. Valenzuela. 2012.** Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6: 76-87.
- Ramírez-Gómez, H., M. Sandoval-Villa, J. Pineda-Pineda, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos, and P. Sánchez-García. 2015.** The effects of pumice characteristics on the yield and quality of tomatoes. *Wulfenia Journal* 22: 365-382.

- Ramos, G. F. 2014.** Necesaria mejoras para la industria, capacitación e integración esenciales para el desarrollo y consolidación de la agricultura protegida en México. *In:* Merle Jensen. La vuelta al mundo en 50 años de horticultura protegida. Revista Digital de Productores de Hortalizas. pp. 22-26.
- Resh, H. M. 2015.** Substrates to use and their sources for hydroponics. *In:* Hydroponics for the home grower. Ed. H. M. Resh. CRS Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL, USA. pp 63-70.
- Riso, P., and Porrini, M. 2001.** Tomatoes and Health Promotion, in Vegetables, Fruits, and Herbs in Health Promotion, *In:* Watson, R. R., Ed., CRC Press LLC, Boca Raton, FL, USA. pp. 47–65.
- Siller, C. y Báez S. M. A. 2009.** Recolección, empaque y manejo poscosecha. pp. 409-426. *In:* J. Z. Castellanos (ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri. Celaya, Guanajuato, México.
- Urbina, S. E., G. A. Baca C., R. Núñez E., M. T. Colinas L., L. Tijerina C., J. L. Tirado T. 2011.** Zeolita como sustrato en el cultivo hidropónico de gerbera. Terra Latinoamericana 29: 387-394.
- USDA. 1991.** United states standars for grades of fresh tomatoes. Washington D. C. USA. 13 p. [www.usda.gov/wps/portal/usdahome](http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome). (Consultada 2 de noviembre de 2015).
- Vargas T., P., J. Zaragoza-Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., R. M. López R., C. Martínez S. y J. L. Ojodeagua A. 2008.** Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica de México 34: 323-331.

**Yahya, A., S. Anieza, B. Rosli y L. Ahmad. 2009.** Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of celosia cristata. Amer. J. Agric. Biol. Sci. 4: 63-71.

**Zeidan, R. 2005.** Tomato production under protected conditions. Extension Service of the Israel Ministry of Agriculture and Rural Development. MASHAV, CINADCO, Tel Aviv, Israel.

## **CAPÍTULO II. THE EFFECTS OF PUMICE CHARACTERISTICS ON THE YIELD AND QUALITY OF TOMATOES**

Humberto Ramírez-Gómez<sup>1</sup>, Manuel Sandoval-Villa<sup>1\*</sup>, Joel Pineda-Pineda<sup>1,2</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>1</sup>, Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>, and Prometeo Sánchez-García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Soil Science Program, Graduate College Montecillo Campus. C.P. 56230. Montecillo, Mexico State. msandoval@colpos.mx \*correspondence author.

<sup>2</sup>Soil Department, Chapingo Autonomous University. Chapingo, Mexico State. 56230. Mexico.

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the physical properties of pumice and its effect on the plant morphology, yield and quality of tomato in hydroponics. Pumice from three different sites was evaluated. Treatments consisted of three unsieved pumice plus the same sieved pumices, it also was included a treatment with red porous volcano gravel, which was the control substrate. An experimental design with six complete blocks and seven treatments was used. The physical properties of the evaluated pumice were: bulk density (BD), moisture retention capacity (MRC), total pore space (TPS), capacity of aeration (CA), easily available water (EAW), reserve water (RW), hardly available water (HAW), and total available water (TAW). Plant morphological variables, yield, and fruit quality were evaluated. Regarding pumice physical properties there were significant differences in BD, MRC, TPS, CA, RW, HAW, and TAW. In general, plants that grew in the substrate with higher MRC and HAW had greater stem, polar and equatorial fruit diameters; and the sieved pumice substrate showed the highest fruit yield. The substrate influenced only the firmness and titratable acidity of fruits.

**Keywords:** physical properties, hydroponics, particles size, substrate, yield and quality.

## 2.1. INTRODUCTION

The red tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is an economically important crop throughout the world (Luitel et al., 2012) and is one of the most consumed crops, both fresh and processed (Kaur et al., 2013), due to its nutritional properties (Pinheiro et al., 2013). Its worldwide production increased nearly 40% over the past 10 years. Most are grown in the field; however, greenhouse practices are growing because their conditions improve the yield and quality and the affordability for farmers and they generate employment (He et al., 2009). In recent years, China has been the greatest tomato producer and contributed 50 million Mg in 2012. Mexico only contributed 3.4 million Mg and ranked tenth (FAOSTAT, 2012).

According to Chen et al. (2013), economic development and improvement in living conditions leads to more attention being placed on quality than quantity. Agronomic practices are critical to the nutritional quality of crops (Barrett et al., 2007). This is why hydroponic greenhouse crops are increasing annually in several countries, as higher yields and better quality are obtained under these conditions. In such systems, the substrate plays an important role and constitutes one of the factors that determine the success of vegetable and ornamentals production (Abad et al., 2004).

In Mexico, the substrates that are most often used for vegetable production are as follows: red porous volcano gravel, coconut fiber, perlite and rockwool. Pumice is a volcanic rock that is found around the Neo-volcanic axis of Mexico. In recent years, several studies of pumice have been conducted; the following are examples: Savvas et al. (2006) studied the use of pumice in the production of lettuce; Gizas and Savvas (2007) evaluated different particle size impacts on the growth and yield of roses, cucumber and lettuce; Nektarios *et al.* (2011) worked with different substrate moisture regimes in *Dianthus fruticosus*; Marinou *et al.* (2013) evaluated hydroponic



production of strawberries; and Tzortzakis and Economakis (2008) studied the use of pumice with different amounts of corn stubble on the yield and quality of tomatoes. In Mexico, a few studies have been conducted with pumice, such as that by Gutiérrez et al. (2011) who studied the effect of a combination of coconut fiber and pumice (particles measuring 1 to 2 mm) on a variety of lettuce seedlings var. Summertime, and Segura et al. (2011) who only studied growth variables, development and flowering of the red tomato.

The physical properties of substrates tend to be more important than the chemical properties, and a study of particle size is crucial to assess the effects of the moisture-air ratio on the crop roots (Vargas et al., 2008). Tomato production in Mexico does not usually involve sieved volcanic substrates; they are used directly from the mine and simply crushed. The selection of the particle size requires special sieves; sometimes it is possible to obtain the proper particle size from the mine. However, if this is not possible, then obtaining the proper size is laborious and is costlier, mainly due to the production of screens and the labor required for screening. In some regions of Mexico, pumice is used for tomato production, and it has different physical properties according to its place of origin.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the physical properties of pumice obtained from different sites and its effect on the yield and quality of tomatoes grown in a greenhouse.

## **2.2. MATERIALS AND METHODS**

The experiment was conducted in a greenhouse from July 11 to December 11, 2013 at the Plant Nutrition experimental area of the Graduate College, on the Montecillo Campus.

Three crushed pumice materials were evaluated, which were obtained from the Tenango mine in the State of Mexico, Perote, Veracruz, and Degollado, Jalisco. Each substrate collected in the mines was screened with mesh that allows particle sizes smaller than 12 mm in diameter to pass through, with the exception of the pumice from Veracruz. On the Veracruz pumice, in addition to using the same mesh, another mesh that retained particles larger than 2 mm was also used. Therefore, six more treatments were created: mined pumice from the State of Mexico (PMSM), mined pumice from the State of Mexico with a diameter less than 12 mm (PSSM), mined pumice from Veracruz (PMV), mined pumice from Veracruz with a diameter greater than 2 mm and less than 12 mm (PSV), mined pumice from Jalisco (PMJ), mined pumice from Jalisco with a diameter less than 12 mm (PSJ) and red porous volcano gravel with a diameter less than 12 mm (RPVG).

The experimental design involved complete blocks with six replicates. In each block, the treatments were randomly distributed; there were a total of 42 experimental units. To verify the effects of the substrates, a saladette red tomato hybrid SUN7705 (Nunhems<sup>®</sup> Bayer CropScience) of indeterminate growth was used as the plant material. It was managed using 35 x 35 cm black polythene bags (9 L volume). The EC and pH of the nutrient solution were measured with portable equipment (Model HI98129, Hanna Instruments, Rhode Island, USA); the pH was adjusted to a range of 5.8-6.0 and the EC from 1.5 to 2.8 dS m<sup>-1</sup> to accommodate the phenological stage of the crop. Both the pH and EC were adjusted each week with sulfuric acid and highly soluble fertilizers, respectively. A universal Steiner (1984) solution was used and prepared in a 1000 L tank. The sprinklers dispensed 8 L h<sup>-1</sup>, and the irrigation system was connected to a digital programmer (Model TEMP-08E, STEREN, Mexico) that supplied irrigation every 1.5 h. Application began with 500 mL during the first two weeks and was later increased to 3 L h<sup>-1</sup> during the production stage, based on previous studies (Flores, 2007). The density was 3.9 plants m<sup>-2</sup>.

During crop development, the following pests were present: white fly (*Trialeurodes vaporariorum*, West.) and red spider mite (*Tetranychus urticae*, Koch.). The former was effectively controlled with CONFIDOR® 350 SC (Imidacloprid 30.20%, Bayer Cropscience) at a dose of 0.5 L ha<sup>-1</sup> and the latter with AGRIMEC® 1.8% CE (Abamectina, Syngenta) at a dose of 1 L ha<sup>-1</sup>. In addition, foliar powdery mildew disease (*Leveillula taurica*, Lév. Arn.) was controlled with AMISTAR® GOLD (Azoxistrobin 17.96%, Syngenta) at a dose of 200 g ha<sup>-1</sup> dissolved in 200 L of water. During the greenhouse phase, the climate conditions were as follows: maximum temperature was 42 °C, minimum temperature was 2 °C, and the average temperature was 28 °C. The average relative humidity was 50%. These data were obtained using a thermo-hygrometer (Model 445702, Extech Instruments, USA).

**Physical properties of the substrates.** The characterization of substrates was carried out in the Plant Nutrition Laboratory (Soil Department of the Chapingo Autonomous University), and the following properties were determined: bulk density (BD), total pore space (TPS), capacity of aeration (CA), easily available water (EAW), reserve water (RW), and hardly available water (HAW). These were measured following the procedures described in the manual of substrate characterization of Ansorena (1994) and the water retention curve with tensions of 0, 10, 50 and 100 cm with methods from De Boodt et al. (1974).

**Response variables.** To understand the effect of the substrates on the plant and the fruit, several yield components and the quality of the fresh tomatoes in a state of completely red maturity were measured.

**Stem diameter.** Measurements were conducted at 150 days after transplant with a standard digital and millimetric caliper (Model 14388, TRUPER, Mexico).

**Polar and equatorial diameter of the fruit.** Measurements were made with the same caliper.

**Yield.** Yield per plant was recorded every week until the eighth cluster, after which thinning was performed from the second cluster, leaving only five fruits. An analytical balance (Scout® Pro, OHAUS, Mexico) was used to measure the fruit weight.

**Fruit quality.** Determinations were conducted in the Multiple Use Laboratory of the Department of Plant Science of Chapingo Autonomous University (UACH), Texcoco, in the State of Mexico.

**Fruit color.** Was evaluated using the portable sphere spectrophotometer (model SP-62, X-Rite, USA). The CIELCH method was used for the scales of L (Luminosity), C (Chroma or color purity) and H (Hue or hue angle). The reading was performed in duplicate for the equatorial part of the fruit.

**Firmness.** Measured with a penetrometer of 25 kgf (kilogram force) provided with a conical tip (Model MT150, CHATILLON®, USA). Two readings from opposite sides of the equatorial region of the fruit were performed, and the obtained kgf was converted into newtons by multiplying the kgf by 9.81.

**Total soluble solids (TSS).** Determined with a digital refractometer (PAL-RI, Atago Co., Tokyo, Japan) by placing a drop of fruit juice directly on the cell of the apparatus (results in °Brix).

**Titrateable acidity (TA).** This was determined as the concentration of citric acid in the tomato juice by the method described by the AOAC (1995).

**Ascorbic acid (AA).** Determined using methodology described by Albrecht (1993).

**Weight loss in fruits.** Daily weight loss of fruit was recorded at a temperature of 22 °C and an average relative humidity of 35% using the same analytical balance. Measurements were

taken for 21 days from October 15 to November 4, 2013. Each treatment was composed of six fruits, and each fruit was considered to be an experimental unit.

**Maturity index (MI).** Calculated as the ratio of total soluble solids (°Brix) to titratable acidity.

**Statistical analysis.** Analysis of variance and means comparison (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) were conducted for the response variables using the statistical software Statistical Analysis System (SAS Institute, 2003).

### 2.3. RESULTS AND DISCUSSION

**Physical properties of the substrate.** According to a statistical analysis, the substrate origin affected all of the physical properties (Table 1). The highest BD was from sieved red porous volcano gravel (RPVG,  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$ ). In contrast, the PMV substrate had the lowest BD of  $0.4 \text{ g cm}^{-3}$ . Unsieved substrates had lower BD with the exception of the substrate PSJ. The substrate PMSM had the greatest MRC and TPS at 40 and 97%, respectively. In contrast, RPVG, the substrate commonly used in the region, had the lowest MRC and TPS (12 and 65%, respectively). This finding was probably obtained because the RPVG had the greatest number of macropores ( $>30 \mu\text{m}$ ), which do not have the ability to retain water after draining (Cadahia, 2005), and, at the same time, the nature of red porous volcano gravel has a high proportion of occluded porosity (closed pores), which decreases its effective TPS (Vargas *et al.*, 2008). The sieved materials had a lower TPS and CA, a pattern similar to that reported by Vargas *et al.* (2008) on the effect of the particle size of red porous volcano gravel from different origins in Guanajuato, Mexico. Pumice has percolation and storage pores that red porous volcano gravel lacks (Gutiérrez *et al.*, 2011). The PMV substrate had the highest CA (64%); however, the differences were not significant with the

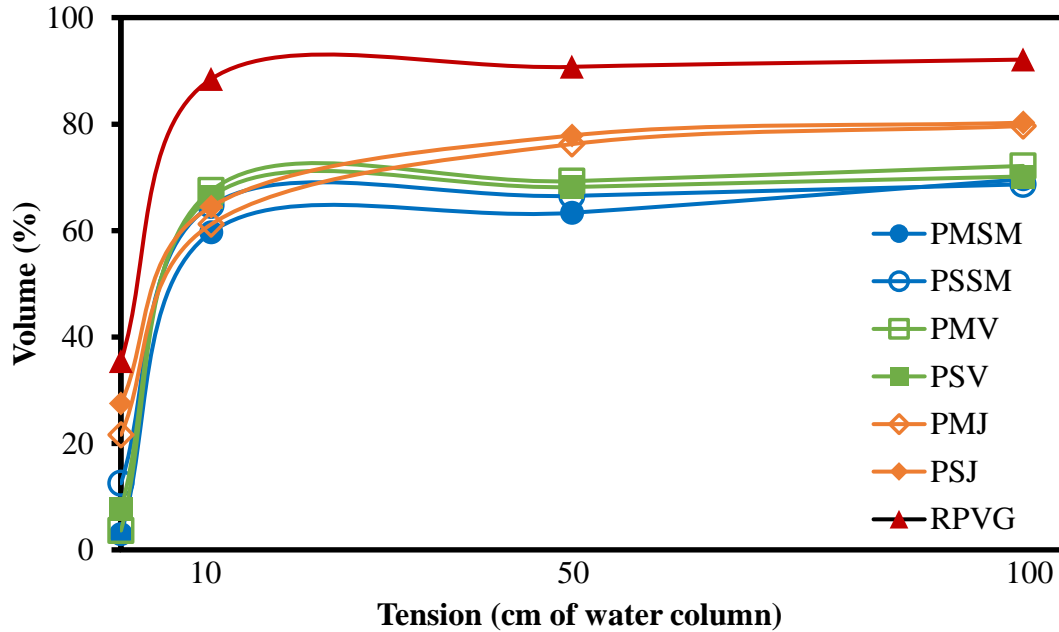
substrates PSV and PMSM. In pumice, this property was above the optimum range (15-30%) of the ideal substrate (Abad *et al.*, 2004). The substrates from Jalisco without screening and sieving had higher values of EAW and TAW than the other substrates (Table 1). Meanwhile, the substrate PMSM had the greatest RW and HAW.

**Water retention curve.** Pumice rocks PMSM, PSSM, PMV and PSV had high values of TPS (Figure 1); in other words, a TPS greater than 85% (Abad *et al.*, 2004) indicated little presence of solid material. These four substrates and RPVG had similar CA (Table 1), but pumice had a greater MRC (Table 1 and Figure 1). At 50 cm of water column tension, the PMJ and a PSJ had a greater EAW and at 100 cm of water column tension, the substrate PMSM had more RW. Finally, the pumice from Mexico and Veracruz had greater HAW values, although Jalisco was also high (Figure 1). In this regard, Segura *et al.* (2008) indicated that pumice has a large number of pores (60%), of which 15% are for conduction and 45% for storage in the mesopores (30-70  $\mu\text{m}$  in diameter) and micropores (<30  $\mu\text{m}$ ), respectively (Sumner, 2000). According to Klug *et al.* (2002), regardless of the origin of the pumice, 75% of the total internal pores correspond to vesicles or conduction pores, which range from 10 to 20  $\mu\text{m}$  in diameter and more than 90% of the vesicles have interconnections with internal pores. This property of pumice confers greater MRC than that of RPVG (Figure 1).

**Table 1.** Physical properties of pumice substrate from different locations in Mexico.

Substrate	BD	MRC	TPS	CA	EAW	RW	HAW	TAW
	g cm <sup>-3</sup>	----- % -----						
PMSM	0.5 c <sup>†</sup>	40 a	97 a	57 a	3.68 b	6.29 a	30 a	9.97 bc
PSSM	0.6 c	35 bc	87 ab	52 ab	1.78 b	2.16 ab	31 a	3.95 d
PMV	0.4 d	32 c	96 a	64 a	1.77 b	2.87 ab	28 a	4.64 cd
PSV	0.5 d	34 c	92 ab	59 a	1.81 b	1.99 ab	30 a	3.80 d
PMJ	0.8 b	39 ab	78 bc	40 bc	15.07 a	3.40 ab	20 b	18.48 a
PSJ	0.8 b	35 bc	73 c	37 c	13.38 a	2.41 ab	20 b	15.80 ab
RPVG	1.0 a	12 d	65 c	53 ab	2.28 b	1.40 b	8 c	3.68 d
MSD	0.04	4.65	14.82	15.05	5.42	4.31	4.14	5.93
CV	2.52	5.13	6.32	10.47	34.22	52.81	6.22	24.72

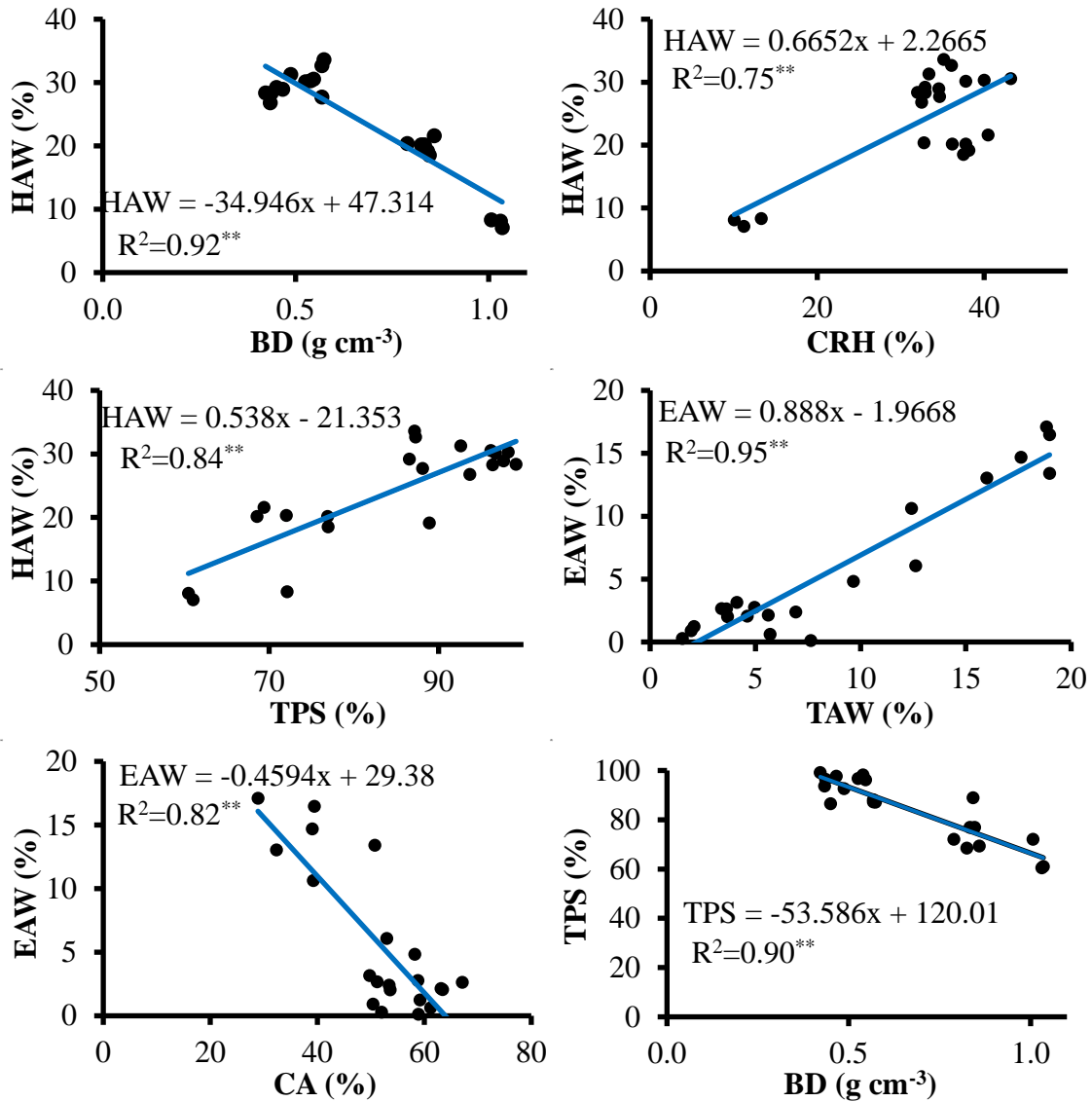
<sup>†</sup> Different letters in the same column indicate significant differences (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm), BD = bulk density, MRC = moisture retention capacity, TPS = total pore space, CA = capacity of aeration, EAW = easily available water, RW = reserve water, HAW = hardly available water, TAW = total available water, MSD = minimum significant difference, CV = coefficient of variation.



**Figure 1.** Water retention curve of pumice. PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

**Correlation between the physical properties of pumice.** There are positive and negative correlations between the physical properties of the substrates (Figure 2). An increase in the BD decreases the HAW in the substrates ( $R^2 = 0.92$ ; Figure 2a). The lowest BD is observed in pumice, and the presence of micropores accommodates more HAW. According to Gruda and Schnitzler (2004), pores with diameters ranging from 0.2 to 30  $\mu\text{m}$  retain HAW. Increasing MRC also increases HAW ( $R^2 = 0.75$ ; Figure 2b); the same occurs with TPS ( $R^2 = 0.84$ ; Figure 2c). Of all of the physical properties, the strongest positive correlation was found between TAW and EAW ( $R^2 = 0.95$ ; Figure 2d), contrary to what occurs with CA ( $R^2 = 0.82$ ; Figure 2e). Finally, pumice has a greater TPS, a characteristic that is related to lower BD with an  $R^2=0.90$  (Figure 2f).





**Figure 2.** Correlation coefficients between the physical properties of pumice. HAW = hardly available water, BD = bulk density, MRC = moisture retention capacity, TPS = total pore space, CA = capacity of aeration, EAW = easily available water, TAW = total available water.

**Stem diameter.** The stem diameter is an indicator of plant vigor. The substrate PMV had the greatest value (13.09 mm), although it was similar to the substrates PSV, PSSM and PMSM (Table 2). Substrate RPVG had the smallest diameter of 8.95 mm. Studies conducted by Rodríguez *et al.* (2013), on the reuse of red porous volcano gravel on tomato SUN7705 during three cycles, found stem diameters at 71 days of 9.2 to 9.6 mm. Sánchez *et al.* (2014), working with bags in an

open system, found stem ranging from 12.5 to 14.0 mm diameter at 92 days after transplant in the hybrid SUN7705.

**Table 2.** Effect of the substrates of volcanic origin on the yield variables of the tomato hybrid SUN7705 cultivated in a greenhouse.

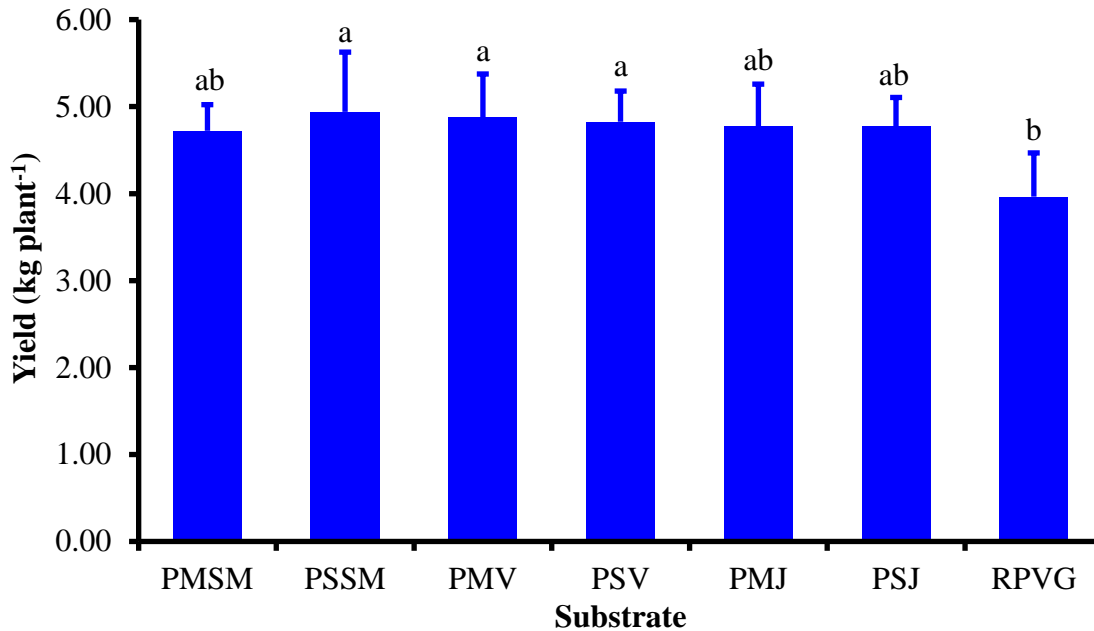
Substrate	Stem diameter	Fruit diameter	
		Equatorial	Polar
		-----mm-----	
PMSM	11.88 a <sup>†</sup>	60.09 a	80.54 a
PSSM	12.73 a	60.43 a	76.76 ab
PMV	13.09 a	57.34 ab	75.67 ab
PSV	12.46 a	56.44 ab	72.53 b
PMJ	11.06 ab	56.33 ab	74.75 ab
PSJ	10.67 ab	56.44 ab	76.25 ab
RPVG	8.95 b	54.24 b	76.98 ab
MSD	2.73	4.46	9.11
CV	13.10	4.26	6.80

<sup>†</sup> Different letters in the same column indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

**Equatorial and polar diameter of the fruit.** The polar and equatorial diameters of the fruit were significantly affected by the substrates (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (Table 2). With respect to the equatorial diameter, the highest value was observed in pumice from the State of Mexico, with a

PMSM and PSSM of 60.09 and 60.43 mm, respectively. In contrast, the smallest diameter was found in RPVG, of 54.24 mm. Likewise, in the substrate PMSM, the fruits had a greater polar length (80.54 mm), and the substrate PSV had the smallest polar diameter (72.53 mm). Martínez *et al.* (2013), researching sand as a substrate, recorded equatorial and polar diameters of 49 and 61 mm, respectively, in the same hybrid. Hernández-Leal *et al.* (2013) report diameters of 50.6 and 70.1 mm for SUN7705 using RPVG in bags as a substrate. Compared to the studies mentioned above, larger sizes were found in this study; this indicated that pumice has a positive effect on the caliber of the tomato fruit. According to Mexican Standard NMX-FF-031-SCFI (1997), the size and weight of the tomatoes in this study qualify them as extra-large fruit.

**Yield per plant.** The evaluated substrates had a significant effect on the yield per plant and the Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ) generated three groups of means (Figure 1). The PSSM substrate exhibited the highest yield, at 4.94 kg plant<sup>-1</sup>, but was not different from PMV and PSV at 4.88 and 4.83 kg plant<sup>-1</sup>, respectively. RPVG produced the lowest yield (3.96 kg planta<sup>-1</sup>), which was nearly a 1 kg difference from that of PSSM. The low MRC with RPVG (also the case with water and nutrients) is due to the macropores, which percolate the applied water, generating a low MRC (Table 1). Therefore, the plants grown in RPVG did not have a sufficient nutrient solution. According to Kuscu *et al.* (2014), an irrigation deficit in tomatoes can increase quality but reduces yield, mainly resulting in smaller fruit size.



**Figure 3.** Yield per plant of the tomato SUN7705 cultivated in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

**Total soluble solids (TSS).** Substrate did not affect the TSS (Table 3). Rodríguez *et al.* (2013) found 3.95 to 4.25 °Brix in the fruits of the tomato SUN7705 by reusing RPVG; however, there was no significant effect. Hernández-Leal *et al.* (2013) evaluated the agronomic response of F<sub>2</sub> populations of hybrid tomatoes and found an average of 4.4 °Brix in the first generation of the hybrid SUN7705 grown in RPVG. This study found a slight increase in TSS in fruits from RPVG (4.75 °Brix) compared to other substrates, but the difference was not significant. Favati *et al.* (2009) found that high water availability for a plant can negatively influence the TSS concentration and reduce the sugar percentage in the fruit. It is possible that the low MRC of RPVG slightly favored TSS in the fruits harvested on this substrate. A TSS greater than 4.5 °Brix is an indicator

of tomatoes with good flavor (Wills *et al.*, 1998), and in this study, most of the substrates exceeded this established value.

**Table 3.** Effect of pumice on the quality of hybrid tomato SUN7705 fruits cultivated in the greenhouse.

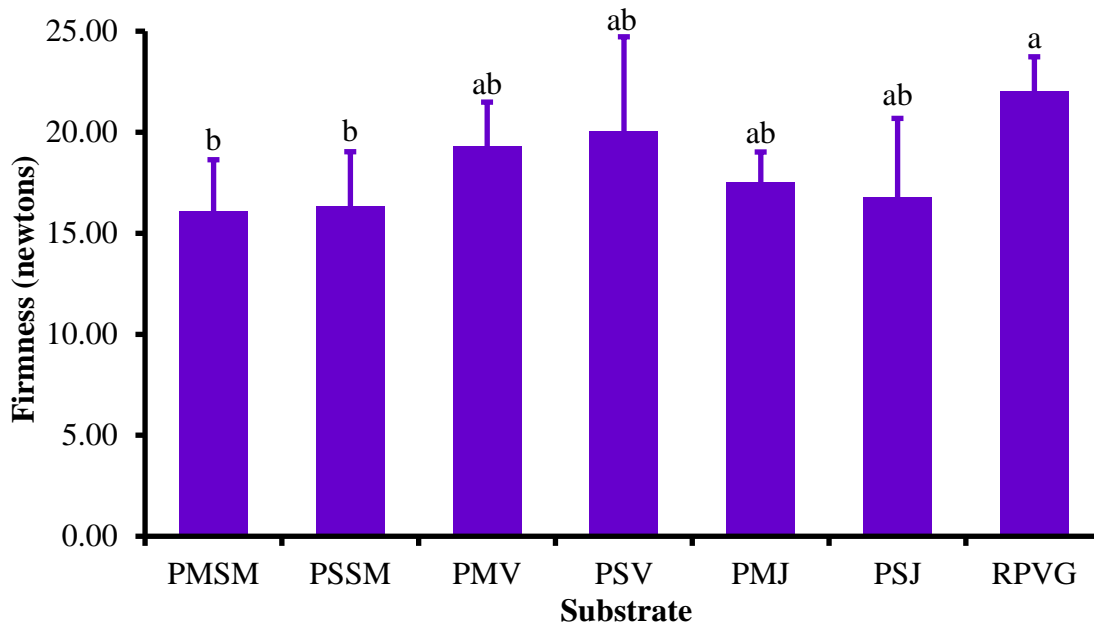
Substrate	Total soluble solids		Color		Ascorbic acid	Maturity index
	°Brix	L	C	°h	mg 100 g <sup>-1</sup>	TSS/TA
PMSM	4.48 a <sup>†</sup>	46.43 a	50.32 a	49.31 a	47.97 a	9.09 a
PSSM	4.71 a	46.77 a	50.14 a	49.99 a	49.82 a	9.72 a
PMV	4.58 a	47.18 a	47.27 a	47.37 a	48.94 a	8.82 a
PSV	4.55 a	47.02 a	47.32 a	50.82 a	48.89 a	9.42 a
PMJ	4.26 a	47.43 a	47.53 a	47.61 a	50.53 a	9.07 a
PSJ	4.70 a	46.54 a	48.44 a	47.62 a	49.91 a	8.66 a
RPVG	4.75 a	47.78 a	49.14 a	50.47 a	48.62 a	8.16 a
MSD	0.80	2.42	5.53	5.07	6.16	2.12
CV	9.73	2.85	6.30	5.73	6.93	13.12

<sup>†</sup> Different letters in the same column indicate significant differences according to a Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm). L = luminosity, C = chroma, °h = hue.

**Color CIE-L\*C\*h°.** The visible red color of tomato fruits is due to lycopene, which is a carotenoid, a natural fat-soluble pigment (Stinco *et al.*, 2013). The evaluated substrates did not exhibit significant differences in the variables of luminosity (L), chromaticity (C) and hue angle

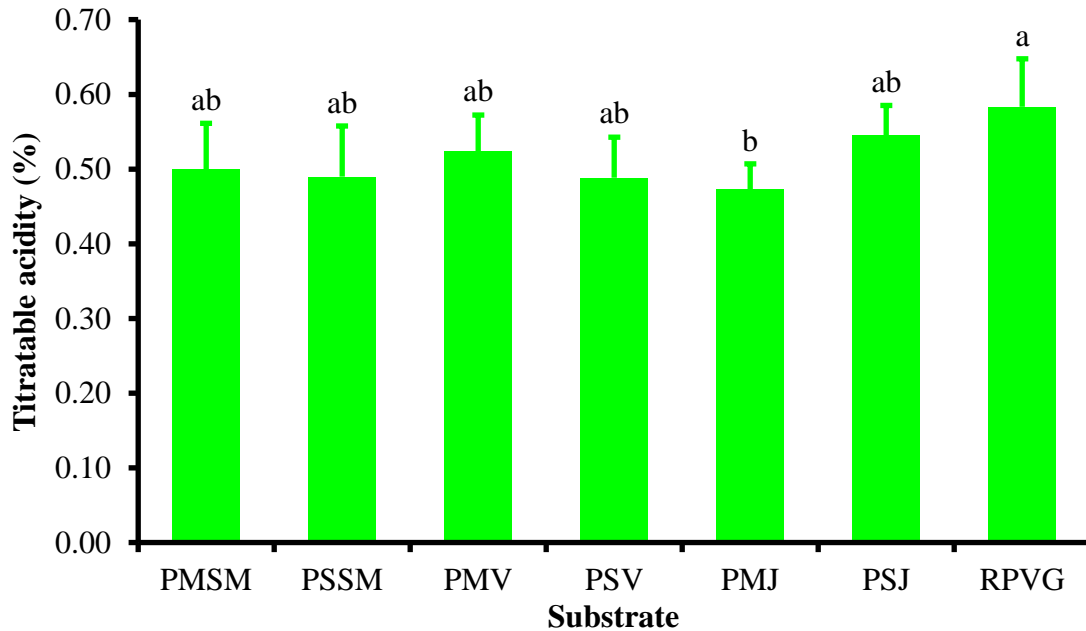
(°h) in f the red tomato fruits (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The luminosity of the tomato SUN7705 in this study had a minimum reading of 46.43 and a maximum of 47.78; i.e., all are close to the center of the clarity scale ranging from 0 to 100, represented by the extreme grey and white colors, respectively (Table 3). The chroma indicates purity or color intensity on a scale from 0 to 100. The values of chroma obtained in fruits were from 47.27 to 50.32, located in the middle of the scale. The substrates did not affect the red coloration or hue (°h) of the tomato SUN7705 fruits. In the cylindrical chromatic space CIE-L\*C\*h°, the hue values ranged from 0° (red) to 90° (yellow), and in this study, the fruits produced with pumice were within the average hue range for tomatoes (47.37 to 50.82). Tomato color variability is broad and is mainly due to genotypes; evidence of this was reported by Contreras *et al.* (2011) in fruits of two commercial varieties (Cuauhtémoc and Intense) that had values close to 40 °h; in other words, they were redder than what is reported in this study. It has been observed that the hue gradually decreases with the maturity of the tomato (Zhang et al., 2014): the redder the tomato, the lower the hue value according to the chromatic space CIEL-L\*C\*h°.

**Fruit firmness.** Fruit firmness, along with visual appearance, is considered an important factor in quality and is closely associated with the degree of maturity in the fruit. All of the collected fruits reached a state of maturity of 6 (red). The fruit firmness varied by substrate (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Fruits cultivated with pumice from Jalisco and the State of Mexico exhibited the greatest weight loss (Figure 6) and according to Beaulieu and Gorny (2001), fruit with this characteristic reduces the turgor pressure on their tissues and has been identified as being responsible for the softening of the fruit. This is why they are not as firm compared to fruits obtained with RPVG (22.01 N). Fruit firmness in the study far exceeds the minimum standard of 11 N for commercial quality (Siller and Báez, 2009).



**Figure 4.** Fruit firmness in red tomato SUN7705 cultivated in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

**Titrateable acidity.** Citric acid is the most abundant organic acid in tomatoes, and as the fruit color changes from green to red, the concentration of this acid decreases (Casierra and Aguilar, 2008). There were no significant differences in the titrateable acidity of the fruit grown on different substrates (Figure 5). Fruits from RPVG reached the highest titrateable acidity (0.58%), more than 0.10% than the fruits of the substrate PSJ. Adams and Ho (1989) mention that the increase in the concentration of titrateable acidity and sugars in tomato is due to low levels of water of the fruit by the salinity effect, but in the present study, the effect was due to the low MRC of RPVG, which was also reflected in the TSS.



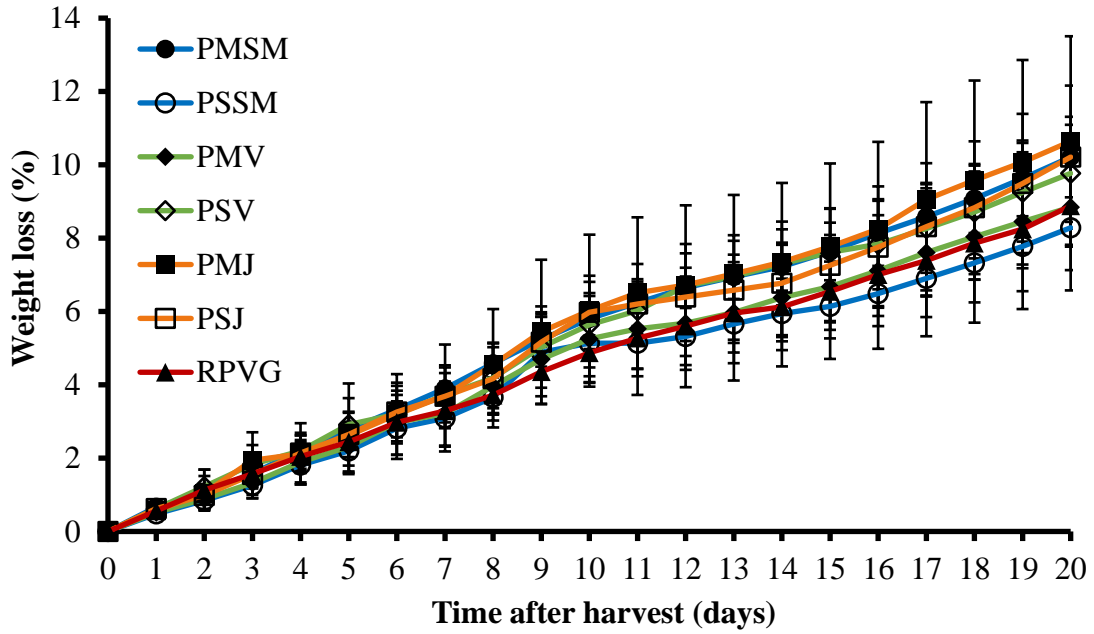
**Figure 5.** Titratable acidity in tomato SUN7705 fruits produced in pumice. Different letters over the bars indicate significant differences, Tukey ( $P \leq 0.05$ ). PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$  mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

**Ascorbic acid.** The differences in the retention capacity of moisture and air in the evaluated substrates did not influence the amount of ascorbic acid in the tomato fruits (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), which stayed within the range of 47.97-50.53 mg 100 g<sup>-1</sup> (Table 3). These results are similar to those reported by Mohammadi *et al.* (2011), who did not find any differences in ascorbic acid in tomatoes upon evaluating different proportions of date palm peat, coconut fiber and perlite, even when the physical properties of the substrates were different. These amounts of ascorbic acid are similar to those reported by Kaur *et al.* (2013) in ten commercial tomatoes from India, to those of Vinha *et al.* (2013) in four cultivars of tomato in Portugal and to those of Juárez *et al.* (2009) in the evaluation of seven genotypes of tomatoes native to Mexico.



**Maturity index (TSS/TA).** The TSS/TA ratio is an important factor in the quality parameters of the tomato because it is known that sweetness and acidity are important criteria for taste. In general, the maturity index increases gradually over time (Casierra and Aguilar, 2008). In this study, the substrates did not affect the maturity index of the SUN7705 fruits (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The index ranged from 8.16 (RPVG) to 9.72 (PSSM). These results are different than those reported by Flores et al. (2012), who tested three levels of electric conductivity (EC) of the Steiner (1984) solution on the quality of native tomatoes together with SUN7705 and found an average of 11.71 in this cultivar.

**Weight loss.** The difference in the daily weight loss of tomato fruits between substrates was not significant (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Loss at day 20 ranged from 8.28 to 10.64% (Figure 6). This loss was similar to that reported by Villarreal et al. (2002) on the same day at 20 °C with the hybrid EF-99 of determinate habit growth. The processes of transpiration, respiration and the water vapor pressure deficit between fruit and the environment are what generate water losses, which are reflected in a lower fruit weight (Lanchero *et al.*, 2007). Storage at low temperatures is the most efficient method for maintaining quality in fruits and vegetables due to the effect of reducing the rates of respiration, transpiration, ethylene production, maturation and rotting (Casierra and Aguilar, 2009).



**Figure 6.** Weight loss of SUN7705 tomato fruits cultivated in pumice over 20 days. PMSM = mined pumice from the State of Mexico, PSSM = pumice from the State of Mexico ( $\Theta < 12$  mm), PMV = mined pumice from Veracruz, PSV = pumice from Veracruz ( $\Theta > 2$ mm to 12 mm), PMJ = mined pumice from Jalisco, PSJ = pumice from Jalisco ( $\Theta < 12$  mm), RPVG = red porous volcano gravel ( $\Theta < 12$  mm).

## **2.4. CONCLUSIONS**

The total pore space (TPS) and the moisture retention capacity (MRC) of pumice are greater than those of RPVG; however, the bulk density (BD) is less. Likewise, the MRC and TPS have a positive correlation with the hardly available water (HAW) but are negatively correlated with BD. Increasing BD decreased the TPS. The physical properties of pumice directly affected the stem diameter, equatorial and polar diameter of the fruit and the yield per plant. They also influenced the firmness and titratable acidity of the fruit, but exhibited values similar to those obtained in conventional substrates such as RPVG. In general, pumice is a substrate with the potential to produce greenhouse tomatoes in places near the volcanoes around Mexico.

## 2.5. REFERENCES

- Abad, B. M., Noguera M. P., y Carrión B. (2004).** Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. *In:* M. Urrestarazu G. (ed.). Tratado de cultivo sin suelo. Editorial Mundi-Prensa. España, pp., 113-141.
- Adams, P., and Ho L. C. (1989).** Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 64, 725-732.
- Albrecht, J. A. (1993).** Ascorbic acid and retention in lettuce. *Journal of Food Quality*, 16, 311-316.
- Ansorena, M. J. (1994).** Sustratos, propiedades y caracterización: Substrates, properties and characterization. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- AOAC. (1995).** Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. USA.
- Barrett, D. M., Weakley, C., Diaz, J. V., & Watnik M. (2007).** Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production system. *Journal of Food Science*, 72, 441-451.
- Beaulieu, J.C., & Gorny J.R. (2001).** Fresh-cut fruits. pp. 1-49. *In:* Gross, K.C., M.E. Saltveit and C.Y. Wang (eds.). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Handbook 66. USDA, Washington, DC. USA.
- Cadahía, L. C. (2005).** Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Casierra, P. F., & Aguilar-Avendaño O. E. (2008).** Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26, 300-307.
- Casierra, P. F., & Aguilar-Avendaño O. E. (2009).** Incidence of maturity stage on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality. *Acta Horticulturae*, 821, 229-234.
- Contreras, A. L. A., Heredia, J. B., Sánchez, A. C. E., Angulo, E. M. A., & Villarreal R. M. (2011).** Efecto del genotipo y sales de calcio en la calidad de tomates frescos cortados. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17, 39-45.

- Chen, J., Kang, S., Du, T., Qiu, R., Guo, P., & Chen R. (2013).** Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. *Agricultural Water Management*, 129, 152–162.
- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert J. (1974).** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054-2062.
- FAOSTAT. 2012.** Web site database. <http://faostat.fao.org/>. (Consulted: September 17, 2014).
- Favati, F., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T., & Candido V. (2009).** Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 122, 562-571.
- Flores, G. D., Sandoval, V. M., Sánchez, G. P., Ramírez, V. P., & Rodríguez G. M.N. (2012).** Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 947, 69-76.
- Gutiérrez, C. M. Del C., Hernández, E. J., Ortiz, S. C. A., Anicua, S. R., & Hernández L. M.E. (2011).** Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17, 183-196.
- Gizas, G., and Savvas D. (2007).** Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience*, 42, 1274-1280.
- Gruda, N., & Schnitzler W.H. (2004).** Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. I. Physical properties of wood fiber substrates. *Scientia Horticulturae*, 100, 309–322.
- Hernández, L. E., Lobato, O. R., García, Z. J.J., Reyes, L. D., Méndez, L. A., Bonilla, B. O. & Hernández B. A. (2013).** Comportamiento agronómico de poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 209-215.
- He, Y., Zhu, Z. J., Yang, J., Ni, X. L., & Zhu B. (2009).** Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 270–278.

- Juárez, L. P., Castro, B. R., Colinas, L. T., Ramírez, V. P., Sandoval, V. M., Reed, D. W., Cisneros, Z. L., & King S. (2009).** Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15, 5-9.
- Kaur, C., Walia, S., Nagal, S., Walia, S., Singh, J., Bhushan, S. B., Saha, S., Singh, B., Kalia, P., & Sarika S. J. (2013).** Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars grown in Northern India. *Food Science and Technology*, 50, 139-145.
- Klug, C., Cashman, K.V., & Bacon C. R. (2002).** Structure and physical characteristics of pumice from the climactic eruption of Mount Mazama (Crater Lake), Oregon. *Bulletin of Volcanology*, 64, 486–501.
- Kuscu, H., Turhan, A., & Osman D. A. (2014).** The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management*, 133, 92–103.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Valera, N. C., & García H. (2007).** Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8, 61-68.
- Luitel, B. P., Adhikari, P. B., Yoon, C. S., & Kang W. H. (2012).** Yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars established at different planting bed size and growing substrates. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53, 102-107.
- Marinou, E., Chrysargyris, A., & Tzortzakis N. (2013).** Use of sawdust, coco soil and pumice in hydroponically grown strawberry. *Plant, Soil and Environment*, 59, 452-459.
- Martínez, M. L., Velasco, V. V. A., Ruiz L. J., Enríquez, Del V. J. R., Campos A. G. V., & Montaña L. M. L. (2013).** Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1175-1184.
- Mohammadi, G. A., Borji, H., & Jafarpour M. (2011).** Effect of some culture substrates (date-palm peat, coco peat and perlite) on some growing indices and nutrient elements uptake in greenhouse tomato. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 1437-1442.

- Nektarios, P. A., Amountzias, I., Kokkinou, I., and Ntoulas N. (2011).** Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species *Dianthus fruticosus* under reduced irrigation regimens. *HortScience*, 46, 1208-1216.
- Norma Mexicana NMX-FF-031. (1997).** Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) especificaciones. Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas, Pecuarios y Forestales. México D. F. 29 p.
- Flores, J., Ojeda, B. W., López, I., Rojano, A., y Salazar I. (2007).** Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25, 127-134.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M. & Silva C. L. M. (2013).** Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum* cv. Zinac) during storage. *Journal of Food Engineering*, 114, 338–345.
- Rodríguez, D. E., Salcedo, P. E., Rodríguez, M. R., González, E. D. R., y Mena M. S. (2013).** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Terra Latinoamericana*, 31, 275-284.
- Sánchez, del C. F., Moreno, P. E. del C., Pineda, P. J., Osuna, J. M., Rodríguez, P. J. E., y Osuna E. T. (2014).** Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia*, 48, 185-197.
- SAS Institute. (2003).** SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Savvas, D., Passam, H. C., Olympios, C., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., Barouchas P. (2006).** Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41, 1667-1673.
- Segura, C. M. A., Preciado R. P., González C. G., Frías, R. J. E., García, L. G., Orozco, V. J. A., y Enríquez S. M. (2008).** Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia*, 33, 923-928.
- Segura, C. M. A., Ramírez S. A. R., García L. G., Preciado, R. P., García, H. J. L., Yescas, C. P., M., Fortis, H. Orozco, V. J. A., y Montemayor T. J. A. (2011).** Desarrollo de

- plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17, 25-31.
- Siller, C. y Báez S. M. A. (2009).** Recolección, empaque y manejo poscosecha. pp. 409-426. *In:* J. Z. Castellanos (ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri. Celaya, Guanajuato, México.
- Sumner, M. (2000).** Handbook of Soil Science. CRC. Nueva York, NY. USA.
- Steiner, A. A. (1984).** The universal nutrient solution. Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC. The Netherlands. p. 633-650.
- Stinco, C. M., Rodríguez, P. F. J., Escudero, G. M. L., Gordillo, B., Vicario, I. M., & Meléndez M. A. J. (2013).** Lycopene isomers in fresh and processed tomato products: Correlations with instrumental color measurements by digital image analysis and spectroradiometry. *Food Research International*, 50, 111–120.
- Tzortzakis, N. G., & Economakis C. D. (2008).** Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *Journal of Horticultural Science*, 35, 83–89.
- Vargas, T. P., Castellanos, R. J. Z., Muñoz, R. J. De J., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., López, R. R. M., Martínez, S. C., Ojodeagua A. J. L. (2008).** Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 34, 323-331.
- Vinha, A. F., Alves, R. C., Barreira, V. P. S., Castro, A., Costa, S. G. A., & Oliveira P. P. M. B. (2013).** Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *Food Science and Technology*, 30, 1-6.
- Villarreal, R. M., García, E. R. S., Osuna, E. T., y Armenta B. A. D. (2002).** Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra*, 20, 311-320.
- Wills R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce D. (1998).** Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals. CAB international. New York, NY. USA.



**Zhang, Z., Liu, L., Zhang, M., Zhang, Y., & Wang Q. (2014).** Effect of carbon dioxide enrichment on health-promoting compounds and organoleptic properties of tomato fruits grown in greenhouse. *Food Chemistry*, 153, 157–163.

# **CAPÍTULO III. EFECTO DE LA RELACIÓN PIEDRA PÓMEZ, FIBRA DE COCO Y PERLITA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

Humberto Ramírez-Gómez<sup>1</sup>, Manuel Sandoval-Villa<sup>1\*</sup>, Joel Pineda-Pineda<sup>1,2</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>1</sup>, Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>, y Prometeo Sánchez-García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa en Edafología, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. C.P. 56230. Montecillo, estado de México. México. Email: msandoval@colpos.mx (\*autor de correspondencia).

<sup>2</sup>Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México. 56230. México.

## **RESUMEN**

Los sustratos de origen volcánico no proporcionan las mejores relaciones de agua y aire, sin embargo, al mezclarlos con materiales orgánicos mejoran notablemente sus propiedades físicas y pueden tener un efecto positivo en el crecimiento de las hortalizas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la mezcla de piedra pómez con fibra de coco y perlita sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones y nueve tratamientos. Los sustratos utilizados fueron piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM) y del estado de Jalisco (PJ) y se mezclaron a una relación 1:1 y 2:1 con la fibra de coco (Fc) y de 2:1 con la perlita (Per); de esta manera, se generaron las siguientes mezclas: PV: Fc (1:1), PV: Fc (2:1), PV: Per (2:1), PEM: Fc (1:1), PEM: Fc (2:1), PEM: Per (2:1), PJ: Fc (1:1), PJ: Fc (2:1) y PJ: Per (2:1). Las variables cuantificadas fueron las propiedades físicas de los sustratos, las curvas de retención de humedad, diámetro del tallo, diámetro ecuatorial y polar del fruto y el rendimiento de fruta por planta. Asimismo, en los frutos de tomate se midieron los sólidos solubles totales, color, acidez titulable, ácido ascórbico y firmeza. Los datos se analizaron con un análisis de varianza y prueba de separación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). La mezcla de la piedra pómez con la fibra de coco, proporción 1:1, disminuyeron

la densidad aparente (DA) e incrementaron el espacio poroso total (EPT), así como la capacidad de retención de humedad (CRH), la capacidad de aireación (CA), el agua fácilmente disponible (AFD), el agua de reserva (AR) y el agua difícilmente disponible (ADD). Estos sustratos liberaron gradualmente el agua a las tensiones que fueron sometidas. En general, los sustratos solo afectaron el diámetro de tallo de las plantas y a la firmeza de los frutos.

**Palabras clave:** sustratos, propiedades físicas y químicas, *Solanum lycopersicum* L.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más consumida en el mundo después de la papa, y es fuente importante de las vitaminas A y C, minerales esenciales y antioxidantes fenólicos (Kalia y Palanisamy, 2014). En el 2013 en México se tuvo una superficie cosechada de tomate de más de 44 mil ha, con una producción cercana a los 2.7 millones de Mg con un valor de 15 mil millones de pesos (SAGARPA, 2015). De las 20 mil ha de agricultura protegida 14 mil ha son para la producción de *S. lycopersicum* y el resto para pimiento (*Capsicum annum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y otros cultivos.

La producción en suelo y en hidroponía son los dos principales sistemas de cultivo para producir *S. lycopersicum* en México y en otros países. Debido al incremento de los sistemas de producción agrícola bajo ambiente protegido y a las limitantes físicas, químicas y biológicas que presentan muchos suelos, se ha dado una sustitución gradual del suelo por sustratos hidropónicos (Pineda *et al.*, 2012), la cual es cada vez más común en las últimas décadas para la producción de hortalizas en invernadero (Acuña *et al.*, 2013). En la actualidad existen materiales como grava, arena, turba, aserrín, vermiculita, perlita, lana de roca, fibra de coco y piedra pómez, en forma natural o en mezcla, que se utilizan como sustratos hidropónicos (Ashraf *et al.*, 2011). La piedra pómez es un alumino-silicato de origen volcánico que presenta alta porosidad y baja DA. Se utiliza como

sustrato hortícola por su baja DA, alta retención de agua, también por que no contiene semillas de malezas, está libre de patógenos, presenta baja capacidad de intercambio catiónico y además, es un material estable (Gizas y Savvas, 2007). La fibra de coco también es un sustrato que se utiliza para la horticultura en México y se obtiene de la parte gruesa del mesocarpio del fruto del cocotero (Ayala y Valdez, 2008). Asimismo, la perlita es un sustrato excelente como medio de crecimiento para muchas hortalizas y se obtiene de una roca volcánica vítrea, previamente triturada, luego se precalienta de 300 a 400 °C, y finalmente se coloca en un horno a 1000 °C, donde se expande y el agua atrapada en su interior se evapora rápidamente. Con este proceso se obtiene lo que comúnmente se conoce como perlita expandida de color blanco, libre de patógenos y con baja DA (Hanna, 2010).

La mezcla de diferentes sustratos se ha utilizado para mejorar las propiedades físicas con el fin de obtener mejores respuestas en crecimiento y rendimiento de cultivos (Asaduzzaman *et al.*, 2015). Pero también es importante aprovechar los materiales como sustratos disponibles localmente que son menos costosos (Tzortzakis y Economakis, 2008). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la proporción de piedra pómez con fibra de coco y perlita para incrementar el rendimiento y calidad del tomate rojo SUN7705 en invernadero e hidroponía.

### **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en un invernadero localizado en el área experimental de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Se inició el 11 de julio y se concluyó en diciembre de 2013. Los sustratos originales utilizados fueron: piedra pómez, fibra de coco (Fc) y perlita (Per). A partir de éstos se generaron las mezclas de sustratos con base en volumen. Las piedras pómez se obtuvieron en Tenango, estado de México (PEM); Perote, Veracruz (PV) y Degollado, Jalisco (PJ), luego se cribaron con una malla de 1.2 cm de diámetro.

En total se generaron nueve tratamientos y fueron los siguientes: 1) PV: Fc (1:1) pómez de Veracruz y fibra de coco relación 1:1; 2) PV: Fc (2:1) pómez de Veracruz y fibra de coco relación 2:1; 3) PV: Per (2:1) pómez de Veracruz y perlita relación 2:1; 4) PEM: Fc (1:1) pómez de estado de México y fibra de coco relación 1:1; 5) PEM: Fc (2:1) pómez de estado de México y fibra de coco relación 2:1; 6) PEM: Per (2:1) pómez de estado de México y perlita relación 2:1; 7) PJ: Fc (1:1) pómez de Jalisco y fibra de coco relación 1:1; 8) PJ: Fc (2:1) pómez de Jalisco y fibra de coco relación 2:1; y 9) PJ: Per (2:1) pómez de Jalisco y perlita relación 2:1. No se incluyó la relación piedra pómez con perlita de 1:1, debido a que estos dos sustratos son similares en sus propiedades físicas. Los nueve tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones, con un total de 54 unidades experimentales. El tomate que se utilizó fue rojo tipo saladettee híbrido SUN7705 (Nunhems®). El trasplante se llevó a cabo el 11 de julio de 2013 en el sitio de estudio con un riego previo abundante. Los recipientes utilizados fueron bolsas de polietileno de 35 x 35 cm con una capacidad de 9 L. Se utilizó la solución nutritiva Steiner (1984) para la nutrición de las plantas comenzando con un gasto promedio de 500 mL por planta en las primeras dos semanas, posteriormente, con 3 L en la etapa de producción (Flores, 2007). Se utilizaron goteros de 8 L h<sup>-1</sup>, y con el programador digital de ocho eventos se realizaron riegos cada 1.5 h iniciando a las 9:00 am con una duración de tres minutos. La concentración de la solución nutritiva y el pH se midieron con un equipo portátil (Combo, Hanna Instruments); la conductividad eléctrica (CE) se mantuvo entre 1.5 y 2.8 dS m<sup>-1</sup> con base en la etapa fenológica y el pH de 5.8 a 6.0 ajustado con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a una pureza de 94%. Durante el experimento se presentaron algunas plagas: mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, West.), ácaro bronceado (*Aculops lycopersici*, Masee) y cenicilla (*Leveillula taurica*, Lév. Arn.) que se controlaron con ConfidoR® 350 SC (Imidacloprid 30.20 %, Bayer Cropscience), Agrimec® 1.8 %

CE (Abamectina, Syngenta) y Amistar® Gold (Azoxistrobin 17.96 %, Syngenta), respectivamente. Se registró una temperatura máxima de 42 °C, y mínima de 2 °C, con un promedio de 28 °C, y la humedad relativa de 50 % en promedio; estas lecturas se obtuvieron con un termo-higrómetro 445702 (Extech Instruments, USA).

### **Propiedades físicas de los sustratos**

Las propiedades físicas de los sustratos se determinaron en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Mediante el método de De Boodt *et al.* (1974); la curva de liberación de agua de los sustratos se determinó a tensiones de 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua. Las otras determinaciones fueron: densidad aparente (DA), espacio poroso total (EPT), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de humedad (CRH), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD).

Para establecer si las propiedades físicas de los sustratos afectan el rendimiento y calidad del tomate SUN7705 se midieron:

### **Variables de rendimiento en el invernadero**

**Diámetro de tallo.** Al término de la cosecha se midieron los tallos de las plantas con vernier digital marca Truper.

**Diámetro polar y ecuatorial del fruto.** Se determinaron con el mismo vernier.

**Rendimiento por planta.** La planta se dejó crecer hasta el octavo racimo y se quitaron los frutos más pequeños a partir del segundo racimo dejando solo cinco frutos. El rendimiento total por planta se llevó a cabo con una balanza analítica (Ohaus).

## **Variables de calidad de fruto**

Éstas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

**Color CIE-L\*C\*h°.** El color se determinó con base al método CIELCH para la escala L (luminosidad), C (croma o pureza de color) y °h (hue o ángulo de tono). Para ello, se utilizó un espectrofotómetro portátil de esfera X-Rite modelo SP-62. Las lecturas se realizaron por duplicado en la parte ecuatorial de cada fruto.

**Firmeza.** La firmeza del fruto se midió con un penetrómetro Chatillon® T150 con una fuerza de 25 kgf, provisto de una punta cónica. Se tomaron dos lecturas de forma opuesta en la parte ecuatorial y los kgf obtenidos fueron convertidos en newtons multiplicando el valor por 9.81.

**Sólidos solubles totales.** La concentración de azúcares, expresados en °Brix, se determinaron con un refractómetro digital (Atago Pal-1, Japan), colocando una gota del jugo de la fruta directamente sobre la celda del aparato.

**Acidez titulable.** La concentración de ácido cítrico presente en el jugo del tomate se cuantificó por el método descrito en AOAC (1995).

**Ácido ascórbico (vitamina C).** Se determinó en el fruto de tomate con la metodología descrita por Albrecht (1993).

## **Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos de cada variable se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el programa estadístico, Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute, 2002).

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Propiedades físicas de los sustratos

De acuerdo con el análisis de varianza y prueba de separación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) al mezclar las piedras pómez con diferentes relaciones de fibra de coco y perlita se modifican totalmente las propiedades físicas (Cuadro 1). En primer lugar, a mayor adición de Fc (1:1) en las piedras pómez disminuye notablemente la DA; es la pómez de Veracruz la más significativa ( $0.35 \text{ g cm}^{-3}$ ). Este efecto se debe a que la Fc tiene mucho menor DA (Vargas *et al.*, 2008) aún comparada con la perlita. Las piedras pómez con mayor proporción de Fc presentaron mayor CRH y EPT y se debe a que estos sustratos presentan poros internos interconectados capaces de almacenar gran cantidad de agua (Anicua *et al.*, 2008). Estudios realizados por Zazirska *et al.* (2009) al mezclar turba con pómez encontraron que a mayor adición de turba aumenta de 85 a 89 % el EPT. Este efecto se observó en este estudio, pero con Fc. Asimismo, la mezcla de las pómez con perlita disminuyeron la CRH pero se incrementó la CA; este efecto se debe a la propiedad misma de la perlita que posee baja CRH y alta CA (Słowińska-Jurkiewicz y Jaroszek-Sierocińska, 2011). También, con la relación 1:1 de pómez y Fc se tiene mayor AFD, AR y ADD con algunas excepciones; tal característica se atribuye a la fibra de coco (Abad *et al.*, 2005).



**Cuadro 1. Propiedades físicas de las mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per).**

Sustrato	DA	CRH	EPT	CA	AFD	AR	ADD
	g cm <sup>-3</sup>	-----%-----					
PV: Fc (1:1)	0.35 e*	52 a	97 a	45 c	12.45 ab	8.18 ab	32 a
PV: Fc (2:1)	0.39 de	28 e	89 abc	61 a	1.55 d	1.29 c	25 b
PV: Per (2:1)	0.42 d	27 e	89 abc	62 a	3.22 d	1.23 c	22 bc
PEM: Fc (1:1)	0.43 d	50 a	95 a	45 c	8.97 abc	8.97 a	32 a
PEM: Fc (2:1)	0.66 a	43 b	89 abc	46 c	9.41 abc	3.59 bc	30 a
PEM: Per (2:1)	0.61 ab	34 cd	90 ab	57 ab	4.67 cd	4.81 abc	24 b
PJ: Fc (1:1)	0.51 c	41 b	89 abc	47 bc	13.60 a	4.65 abc	23 b
PJ: Fc (2:1)	0.59 b	38 b	82 bc	44 c	11.14 ab	2.78 c	24 b
PJ: Per (2:1)	0.58 b	31 de	78 c	47 bc	8.62 bc	3.55 bc	18 c
DMS	0.05	5.29	12.30	10.47	4.87	5.36	4.50
CV	3.86	4.85	4.85	7.26	20.81	43.24	6.14

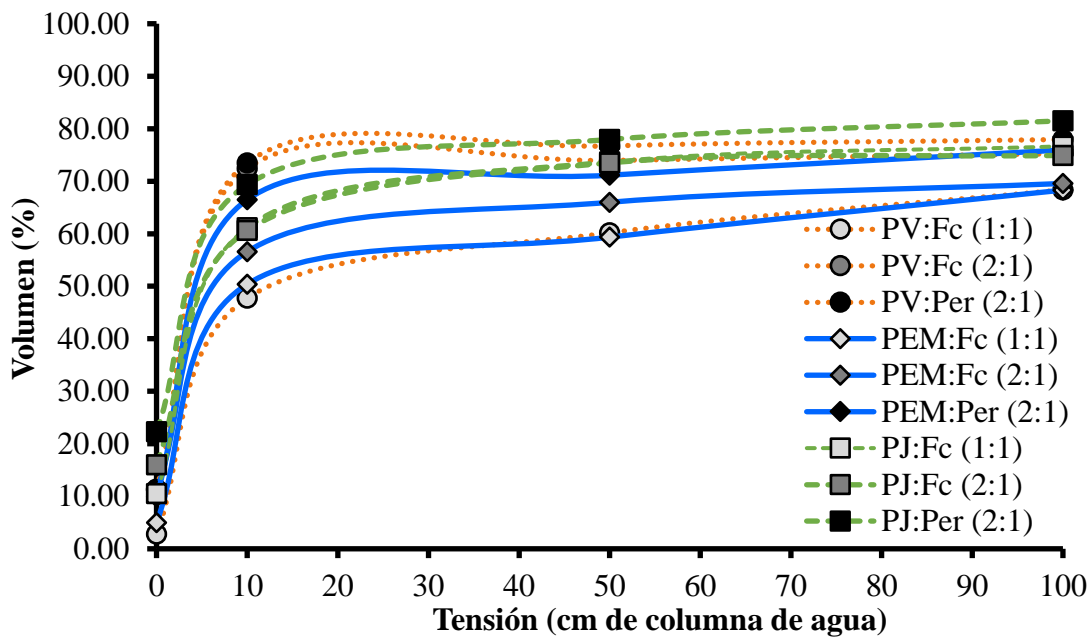
\*Valores con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

DA: densidad aparente, CRH: capacidad de retención de humedad, EPT: espacio poroso total, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible, ATD: agua total disponible, DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

### Curva de liberación de agua

Las nueve mezclas evaluadas presentaron diferentes curvas de liberación de agua a las tensiones sometidas (Figura 1). Las mezclas PV: Fc (1:1) y PEM: Fc (1:1) mostraron curvas de liberación de agua similares a 10, 50 y 100 cm de columna de agua; esta característica se debió a la mezcla

de las pómez con la Fc (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011) y las curvas son típicas de los sustratos orgánicos (Pozo *et al.*, 2014). Contrario a lo esperado, esta tendencia no sucedió con el sustrato PJ: Fc (1:1) con las mismas proporciones. En cambio, la mezcla PV: Per (2:1) presentó una curva característica de los sustratos inorgánicos, sumándose también el sustrato PV: Fc (2:1); estas similitudes se debieron por la mayor incorporación de la pómez proveniente de Veracruz (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015).



**Figura 1. Curva de liberación de agua de las mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) utilizados en la producción de tomate SUN7705 bajo diferentes tensiones.**

### Diámetro de tallo

El uso de diferentes mezclas de sustratos en este estudio mostró efecto en el diámetro de tallo del tomate SUN7705 (Cuadro 2). Con la mezcla PV: Per (2:1) se tuvo el mayor diámetro de tallo con 13.77 mm, seguido por el sustrato PV: Fc (1:1) con 12.91 mm. En general, se observaron tallos más gruesos con la mezcla de sustratos de la pómez proveniente de Veracruz. Estos resultados son

similares a lo que se encontró con la evaluación de los sustratos originales (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015) y por Sánchez *et al.* (2014) que hallaron diámetros de tallo entre 12.10 y 14.00 mm a los 92 días después del trasplante con el cultivar “Juan Pablo, US Agriseeds”.

**Cuadro 2. Efecto de mezclas de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) en las variables tallo, diámetro ecuatorial y polar del fruto y rendimiento del tomate SUN7705.**

Sustrato	Tallo	Ecuatorial fruto	Polar fruto	Rendimiento
	-----Diámetro (mm)-----			kg planta <sup>-1</sup>
PV: Fc (1:1)	12.91 ab*	57.34 ab	74.06 ab	4.64 a
PV: Fc (2:1)	12.22 ab	58.08 ab	72.64 b	4.75 a
PV: Per (2:1)	13.77 a	55.41 b	71.72 b	4.74 a
PEM: Fc (1:1)	11.38 ab	60.32 a	79.44 a	4.79 a
PEM: Fc (2:1)	10.32 b	60.54 a	77.42 ab	4.76 a
PEM: Per (2:1)	10.55 ab	60.19 a	77.84 ab	4.76 a
PJ: Fc (1:1)	11.89 ab	58.59 ab	74.91 ab	4.55 a
PJ: Fc (2:1)	10.85 ab	59.26 ab	74.44 ab	4.97 a
PJ: Per (2:1)	12.59 ab	58.06 ab	73.57 ab	4.76 a
DMS	3.23	4.18	6.58	0.74
CV	14.45	3.77	4.63	8.24

DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

**Diámetro ecuatorial y polar del fruto**

La mezcla de piedra pómez con diferentes proporciones de fibra de coco y perlita afectaron el tamaño de frutos del tomate SUN7705 (Cuadro 2). Con los sustratos PEM: Fc (2:1), PEM: Fc (1:1)

y PEM: Per (2:1) se obtuvieron mayores diámetros ecuatoriales de frutos (60.54, 60.32 y 60.19 mm, respectivamente). Asimismo, el sustrato PEM: Fc (1:1) presentó el mayor diámetro polar con 79.44 mm. Por el contrario, para el sustrato PV: Per (2:1) se encontraron los menores diámetros de fruto. Este efecto se debe principalmente a la liberación de agua de la fibra de coco y perlita con la piedra pómez del estado de México (Figura 1). Se observó que estos sustratos liberaron gradualmente el agua retenida a las diferentes tensiones; de esta forma, las plantas que crecieron en estos sustratos tuvieron mejor aprovechamiento del agua y de la solución nutritiva, y que finalmente, se tradujo en mejores tamaños de fruto (Ojodeagua *et al.* 2008). Estos resultados son similares a los de las mismas piedras pómez originales que se estudiaron con anterioridad (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015). El tamaño de fruto encontrado en este estudio supera a los informados por Martínez *et al.* (2013) estudiando la misma variedad (SUN7705) y solución nutritiva en arena. También, Flores-González *et al.* (2012) obtuvieron frutos de diámetro ecuatorial y polar de 57.06 y 65.43 mm, respectivamente, con similares condiciones de estudio en sustrato tezontle.

### **Rendimiento por planta**

A pesar de las diferencias significativas entre los sustratos respecto a CRH y CA, estos no influyeron sobre el rendimiento de tomate SUN7705 (Cuadro 2). En general, el rendimiento osciló entre 4.55 y 4.97 kg planta<sup>-1</sup>, es decir, con una diferencia de 420 g. La explicación es que las macetas tuvieron la misma cantidad de agua y suministro nutrimental, la cual, no se permitió condiciones de estrés hídrico para las plantas. Además, los riegos fueron ajustados de acuerdo a los estudios realizados por Flores *et al.* (2007).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ojodeagua *et al.* (2008) al evaluar el efecto del suelo y tezontle con diferente granulometría en la producción de tomate tipo bola del híbrido

Gironda en invernadero, sin encontrar diferencias en rendimiento, aun con tezontle con diferente CRH. Asimismo, San-Martín *et al.* (2012), al estudiar cuatro tamaños de partícula de tezontle, no encontró diferencias estadísticas en el rendimiento por planta de tomate híbrido Caimán a pesar de diferencias importantes en la CRH. La explicación es que se mantuvieron la misma cantidad y frecuencia de riego para todos los sustratos y se observó que el mayor porcentaje de agua de los sustratos está como agua difícilmente disponible (Cuadro 2), lo cual, se puede confundir, ya que el agua en realidad está disponible, es decir, el cultivo de tomate puede absorber agua a tensiones mayores o iguales a 10 kPa (100 cm de columna de agua).

### **Sólidos solubles totales**

Los sólidos solubles totales (SST) del tomate no fueron afectados por los sustratos utilizados (Cuadro 3). Con el sustrato PEM: Per (2:1) se obtuvieron frutos de 4.47 °Brix sin ser estadísticamente diferente con el sustrato PV: Per (2:1) de 4.98 °Brix. De acuerdo con Favati *et al.* (2009) la alta disponibilidad de agua en tomate disminuye el porcentaje de azúcares en la fruta, lo cual, no sucedió en este estudio. Estos resultados coinciden por Rodríguez *et al.* (2013), quienes reutilizaron tezontle y con 43.10, 45.69 y 48% de capacidad de humedad en contenedor no encontraron efectos en los SST. Lo mismo sucedió con estudios de López *et al.* (2004) en la evaluación de cuatro sustratos (arena, lana de roca, zeolita y mezcla de arena y hojarasca compostada (50:50 v/v).

**Cuadro 3. Efecto de la mezcla de piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per) en la calidad del tomate SUN7705.**

Sustrato	SST	Color			AT	AA
	°Brix	L	C	°h	%	mg 100 g <sup>-1</sup>
PV: Fc (1:1)	4.63 a	47 a	48 a	50 a	0.56 a	53 a
PV: Fc (2:1)	4.70 a	47 a	49 a	49 a	0.54 a	57 a
PV: Per (2:1)	4.98 a	48 a	48 a	49 a	0.56 a	63 a
PEM: Fc (1:1)	4.82 a	46 a	50 a	50 a	0.50 a	54 a
PEM: Fc (2:1)	4.48 a	46 a	49 a	50 a	0.54 a	57 a
PEM: Per (2:1)	4.47 a	47 a	49 a	49 a	0.55 a	53 a
PJ: Fc (1:1)	4.58 a	48 a	48 a	50 a	0.49 a	57 a
PJ: Fc (2:1)	4.58 a	47 a	49 a	49 a	0.47 a	54 a
PJ: Per (2:1)	4.72 a	46 a	47 a	47 a	0.51 a	59 a
DMS	0.69	2.06	3.17	4.72	0.11	23.00
CV	7.86	2.32	3.45	5.08	11.33	21.53

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ), SST: sólidos solubles totales, AT: acidez titulable, AA: ácido ascórbico, DMS: diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

#### Color CIE-L\*C\*h°

El color de los frutos de tomate es uno de los parámetros de calidad más importantes para los consumidores (Maqsood *et al.*, 2015). En este estudio, los sustratos no afectaron el color del tomate (luminosidad, cromaticidad y ángulo hue) (Cuadro 3). La luminosidad osciló entre 46 y 48, cerca de la mitad de la escala de grises (gris = 0 y blanco = 100). Estos resultados son parecidos a los

que encontraron Cruz-Crespo y Sandoval-Villa (2012) en tomate bola Charleston en tezontle y vermicompost; y por Ramírez-Gómez *et al.* (2015) utilizando el mismo cultivar (SUN7705) en diferentes piedras pómez de México. En relación a la pureza o intensidad del color de los frutos, ésta osciló entre 47 y 50 (croma = 0 a 100), es decir, medianamente puros de acuerdo al espacio cromático cilíndrico CIE-L\*C\*h°. A pesar de que hubo diferencias en la CRH de los sustratos, estos no afectaron la tonalidad roja de los tomates que fluctuaron entre 47 y 50 °h. Pero en estudios realizados por San-Martín-Hernández *et al.* (2012) en tomate bola Caimán con diferentes granulometrías de tezontle contrastan estos resultados al encontrar diferencias de tonalidad en el espacio de color CIELab. Según Cliff *et al.* (2012) alta conductividad eléctrica (5 dS m<sup>-1</sup>) en la solución nutritiva también modifica el color de los frutos de tomate haciéndolos más rojos.

#### **Acidez titulable**

La acidez titulable de los frutos no fue afectada por las mezclas de sustratos (Cuadro 3), lo cual concuerda con lo obtenido por Dannehl *et al.* (2015) en la evaluación de lana de roca, lana de oveja, turba y cáñamo en tomate en condiciones de invernadero y también por Neocleous y Polycarpou (2010) en el uso de roca volcánica y perlita. No obstante, Cruz-Crespo y Sandoval-Villa (2012) si detectaron diferencias al utilizar tezontle y vermicompost en tomate bola Charleston. Según Sánchez-González *et al.* (2015), el porcentaje de acidez no solo está influenciado por la capacidad que tienen los sustratos en la retención de humedad, sino también por la calidad de la luz, la concentración de nutrimentos y el CO<sub>2</sub> dentro del invernadero; además de la acidez está ligada al cultivar y el estado de madurez del tomate (Getinet *et al.*, 2008).

#### **Ácido ascórbico**

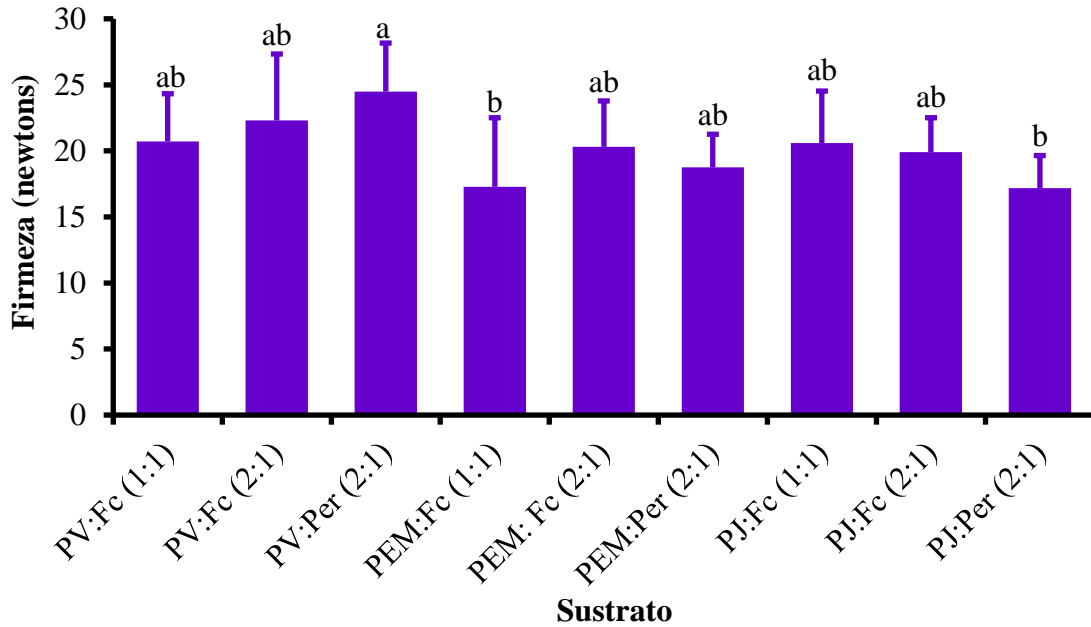
No se encontró diferencia estadística significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) en la concentración de ácido ascórbico (AA) con la utilización de estos sustratos (Cuadro 3). Sin embargo, hubo

variabilidad numérica; ya que con los sustratos PV: Fc (1:1) y PEM: Per (2:1) tuvieron la menor cantidad de AA con 53 mg 100 g<sup>-1</sup>; en cambio, el sustrato PV: Per (2:1) proporcionó la más alta cantidad con 63 mg 100 g<sup>-1</sup>. Por su parte, Dobričević y Voća (2008) si notaron diferencias utilizando arcilla expandida, lana de roca, perlita y turba en tomate Belle. En general, las diferencias en AA en tomates no son claras con el manejo de los sustratos, pero sí con los estados de madurez (Dávila-Aviña *et al.*, 2012).

### **Firmeza de fruto**

La firmeza de los frutos de tomate, expresada como resistencia de la pulpa a la presión, fue mayor en los frutos del sustrato PV: Per (2:1) con 24.49 N y se debe principalmente a que este sustrato presenta menor CRH (Figura 2). Se ha visto que la disponibilidad de agua juega un papel importante en la firmeza de los tomates y este efecto es similar a los estudios realizados por Ramírez-Gómez *et al.* (2015) con estas mismas piedras pómez. Asimismo, (Dhakal y Baek, (2014) reportan firmezas parecidas a lo que se encontró en este estudio, pero en tomate bola Dotaerang. Sin embargo, Sánchez-González *et al.* (2015) encontraron frutos mucho más firmes en dos variedades de tomate utilizando la perlita como sustrato.





**Figura 2. Firmeza de frutos de tomate SUN7705 cultivado en piedra pómez de Veracruz (PV), del estado de México (PEM), de Jalisco (PJ) con fibra de coco (Fc) y perlita (Per).**

### 3.4. CONCLUSIONES

La mezcla de la piedra pómez con diferentes proporciones de fibra de coco y perlita modifican en su totalidad las propiedades físicas de estos sustratos: espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de humedad (CRH), capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD). En su forma natural, la piedra pómez posee baja densidad aparente (DA) pero con la mezcla con mayor proporción con la de fibra de coco le confiere menor DA y a la vez incrementa el EPT, CRH, AFD, AR y ADD. De esta forma, los sustratos PV: Fc y PEM: Fc a una proporción 1:1, liberaron gradualmente el agua retenida a los 10, 50 y 100 cm de columna de agua. Finalmente, los sustratos evaluados solo afectan diámetro de tallo, firmeza de futo, diámetro ecuatorial y polar de los frutos, pero no el rendimiento.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- Abad, M., F. Fornes, C. Carrión, V. Noguera, P. Noguera, Á. Maquieira, and R. Puchades. 2005.** Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience* 40: 2138–2144.
- Acuña, R. A., S. Bonachela, J. J. Magán, O. Marfà, J. H. Hernández, and R. Cáceres. 2013.** Reuse of rockwool slabs and perlite grow-bags in a low-cost greenhouse: Substrates' physical properties and crop production. *Sci. Hortic.* 160: 139–147.
- Albrecht, J. A. 1993.** Ascorbic acid and retention in lettuce. *J. Food Qual.* 16: 311-316.
- Anicua-Sánchez, R., M. C. Gutiérrez-Castorena, and P. Sánchez-García. 2008.** Physical and micromorphological properties of organic and inorganic materials for preparing growing media. *Acta Hort.* 779: 577-582.
- AOAC. 1995.** Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. USA.
- Asaduzzaman, M., M. Saifullah, AKM. S. R. Mollick, Md. M. Hossain, GMA. Halim, and T. Asao. 2015.** Influence of soilless culture substrate on improvement of yield and produce quality of horticultural crops. *In: Asaduzzaman, M. (ed.). Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops. Chapter 1. InTech.*
- Ashraf, M., S. M. J. Akhtar, Z. Ali, A. Qayyum. 2011.** The influence of substrate temperature on the structural and optical properties of ZnS thin films. *Semiconductors* 45: 699–702.
- Ayala-Sierra, A., L. A. Valdez-Aguilar. 2008.** El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para transplante. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14: 161–167.

- Cliff, M.A., J. B. Li, P. M. A. Toivonen, and D. L. Ehret. 2012.** Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 74: 132–140.
- Cruz-Crespo, E., and M. Sandoval-Villa. 2012.** Effect of the nutrient solution concentration and substrates mixture on the quality of tomato. *Acta Hort.* 947: 197-202.
- Dannehl, D., J. Suhl, Ch. Ulrichs, and U. Schmidt. 2015.** Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 88: 68–77.
- Dávila-Aviña, J. E., J. A. Villa-Rodríguez, M. A. Villegas-Ochoa, O. Tortoledo-Ortiz, G. I. Olivas, J. F. Ayala-Zavala, and G. A. González-Aguilar. 2012.** Effect of edible coatings on bioactive compounds and antioxidant capacity of tomatoes at different maturity stages. *J. Food Sci. Technol.* 51: 2706–2712.
- De Boodt, M., O. Verdonck, and J. Cappaert. 1974.** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- Dhakal, R., and K. -H. Baek. 2014.** Metabolic alternation in the accumulation of free amino acids and  $\gamma$ -aminobutyric acid in postharvest mature green tomatoes following irradiation with blue light. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55: 36–41.
- Dobričević, N. and S. Voća. 2008.** Effects of substrate on tomato quality. *Acta Hort.* 779: 485-489.
- Favati, F., S. Lovelli, F. Galgano, V. Miccolis, T. Di Tommaso, and V. Candido. 2009.** Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Sci. Hortic.* 122: 562-571.

- Flores-González, D., M. Sandoval-Villa, P. Sánchez-García, P. Ramírez-Vallejo, and G. M. N. Rodríguez-García. 2012.** Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Hort.* 947: 69-76.
- Flores, J., W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano, I. Salazar. 2007.** Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 127-134.
- Getinet, H., T. Seyoum, and K. Woldetsadik. 2008.** The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *J. Food Eng.* 87: 467–478.
- Gizas, G., and D. Savvas. 2007.** Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42: 1274-1280.
- Gutiérrez-Castorena. M. D., J. Hernández E., C. A. Ortiz-Solorio, R. Anicua S., M. E. Hernández L. 2011.** Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 183–196.
- Hanna, H. Y. 2010.** Reducing time and expense to recycle perlite for repeat use in greenhouse tomato operations. *HortTechnology* 20: 746–750.
- Kalia, P. and M. Palanisamy. 2014.** Tomato. *In: Prata, A., Kumar, J. (eds.). Alien Gene Transfer in Crop Plants, Volume 2.* Springer. pp: 347–380.
- López, J., F. Vásquez, and F. Ramos. 2004.** Effect of substrate culture on growth, yield and fruit quality of the greenhouse tomato. *Acta Hort.* 659: 417-424.
- Maqsood, S., I. Omer, and A. K. Eldin. 2015.** Quality attributes, moisture sorption isotherm, phenolic content and antioxidative activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as influenced by method of drying. *J. Food Sci. Technol.* Springer. 1–11.

- Martínez M. L., V. A. Velasco V., J. Ruiz L., J. R. Enríquez-del V. G. V. Campos Á., y M. L. Montaña L. 2013.** Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 6: 1175-1184.
- Neocleous, D. and P. Polycarpou. 2010.** Gravel for soilless tomato culture in the mediterranean region. *Int. J. Veg. Sci.* 16: 148–159.
- Ojodeagua A. J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina C., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008.** Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 367-374.
- Pineda P. J., F. Sánchez C., A. Ramírez A., M. A. Castillo G., L. A. Valdés A., E. C. Moreno P. 2012.** Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 18: 95-111.
- Pozo, J., J. E. Álvaro, I. Morales, J. Requena, T. L. Malfa, P. C. Mazuela, and M. Urrestarazu. 2014.** A new local sustainable inorganic material for soilless culture in Spain: granulated volcanic rock. *HortScience* 49: 1534-1541.
- Ramírez-Gómez, H., M. Sandoval-Villa, J. Pineda-Pineda, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos, and P. Sánchez-García. 2015.** The effects of pumice characteristics on the yield and quality of tomatoes. *Wulfenia Journal* 22: 365-382.
- Rodríguez D., E. Salcedo P., R. Rodríguez M., D. R. González E., y S. Mena M. 2013.** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Terra Latinoamericana* 31: 275-284.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015.** Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). Cierre de la producción agrícola

- por cultivo (En línea). Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (revisado el 23 de junio de 2015).
- Sánchez C. F., E. C. Moreno P., J. Pineda P., J. M. Osuna., J. E. Rodríguez P. y T. Osuna E. 2014.** Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48: 185-197.
- San-Martín-Hernández, C., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M. Sandoval-Villa, M. T. B. Colinas-León and L. C. Borges-Gómez. 2012.** Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in different sizes of “tezontle”. *Acta Hort.* 947: 111-118.
- San Martín H. C., V. M. Ordaz C., P. Sánchez G., M. T. B. Colinas L. L. Borges G. 2012.** Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243–254.
- Sánchez-González, M. J., M. C. Sánchez-Guerrero, E. Medrano, M. E. Porras, E. J. Baeza, and P. Lorenzo. 2015.** Influence of pre-harvest factors on quality of a winter cycle, high commercial value, tomato cultivar. *Sci. Hortic.* 189: 104–111.
- SAS Institute. (2002).** SAS/STAT User’s Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Słowińska-Jurkiewicz, A., and M. Jaroszek-Sierocińska. 2011.** Horticulture substrates, structure and physical properties. *In:* Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. (eds.). *Encyclopedia of Agrophysics, Encyclopedia of Earth Sciences Series.* Springer. pp: 364–367.
- Steiner, A. A. 1984.** The universal nutrient solution. *Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture.* ISOSC. The Netherlands. p. 633-650.
- Tzortzakis, N. G., and C. D. Economakis. 2008.** Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *J. Hortic. Sci.* 35: 83–89.

**Vargas T. P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R., J. L.**

**Ojodeagua A. 2008.** Caracterización física química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 375-381.

**Zazirska G. M., J. E. Altland, and J. S. Owen Jr. 2009.** Effect of peat moss and pumice on the physical and hydraulic properties of Douglas fir bark based soilless substrate. *HortScience* 44: 874-878.

## **CAPÍTULO IV. PÓMEZ CON DOBLE CAPA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN HIDROPONÍA E INVERNADERO**

Humberto Ramírez-Gómez<sup>1</sup>, Manuel Sandoval-Villa<sup>1\*</sup>, Joel Pineda-Pineda<sup>1,2</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>1</sup>, Antonio Trinidad-Santos<sup>1</sup>, y Prometeo Sánchez-García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa en Edafología, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. C.P. 56230. Montecillo, estado de México. México. Email: msandoval@colpos.mx (\*autor de correspondencia).

<sup>2</sup>Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México. 56230. México.

### **RESUMEN**

Los diversos sustratos hidropónicos usados en forma natural o en mezcla son diferentes en las relaciones de agua y aire que afectan el rendimiento y calidad del jitomate. El objetivo del experimento fue evaluar tres tipos de piedra pómez como sustrato principal y adicionarle a cada uno en la parte superior del recipiente una capa de fibra de coco, de perlita o de vermiculita para determinar su efecto en el rendimiento y calidad del jitomate. Adicionalmente, se usó tezontle más una capa de fibra de coco como sustrato testigo a comparar, así, se evaluaron diez sustratos. El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Texcoco, estado de México. Durante el ciclo de cultivo de cinco meses (julio a diciembre) las plantas se regaron con la solución nutritiva Steiner. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. Las variables de rendimiento evaluadas fueron: diámetro de tallo, diámetro ecuatorial y polar de fruto, y rendimiento por planta; las de calidad en fruto fueron color (luminosidad, croma y °hue), firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y ácido ascórbico. Con los datos se realizó el análisis de varianza y prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para comparar el efecto de sustratos. Según los resultados, los sustratos no afectaron el diámetro de tallo y tamaño de frutos, pero si hubo mayor rendimiento por planta en las piedras pómez con una capa de perlita.



En calidad, no hubo diferencias en color, firmeza, sólidos solubles totales ni en ácido ascórbico excepto para acidez titulable.

**Palabras clave:** sustratos, tezontle, fibra de coco, perlita y vermiculita.

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas; los invernaderos con sus funciones básicas sirven para proteger los cultivos hortícolas al ambiente externo y crear condiciones óptimas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono, reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas, incrementando rendimientos, calidad y oportunidad comercial (Moreno *et al.*, 2011). En México, la agricultura protegida está creciendo año con año y de ella se produce principalmente jitomate, pimiento y pepino con un 70, 16 y 10%, respectivamente (Rodríguez *et al.*, 2013). Los productores que cuentan con sistemas protegidos aprovechan el recurso suelo para producir sus hortalizas, pero se presentan problemas fitosanitarios como son: nematodos, enfermedades radiculares y plagas que abaten los rendimientos de sus cultivos; de esta manera, los sustratos pasan a ser un componente clave en la horticultura protegida. El concepto de sustrato se utiliza para denominar a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, diferente al suelo *in situ*, que al ser depositado en un recipiente, solo o mezclado, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando un papel de soporte para las plantas (Abad *et al.*, 2005). De acuerdo con Urrestarazu (2004) el sustrato debe tener una estructura estable, buena aireación y capacidad de retención de humedad, además debe ser económico, disponible, libre de patógenos, fitotoxinas y malezas. Los sustratos pueden intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta y se clasifican como químicamente activos: turbas, corteza de pino, fibra o polvo de coco, etc., o; inertes: perlita, lana de roca, roca volcánica, entre otros (Cadahía, 2005). Sin embargo, las características físicas de los sustratos son las más

importantes, pues una vez establecido el cultivo, difícilmente se pueden modificar y permanecen constantes a lo largo del ciclo del cultivo (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Comúnmente, los sustratos son utilizados sin combinar con otros materiales, pero con el fin de obtener mejores respuestas en crecimiento y rendimiento de los cultivos algunos productores mezclan diferentes sustratos para obtener las mejores relaciones de agua y aire (Asaduzzaman *et al.*, 2015). No obstante, se necesita mayor mano de obra para trabajar la mezcla de materiales e indudablemente elevaría los costos de producción. En México se cuenta con varios materiales de origen volcánico (tezontle, piedra pómez, zeolita, etc.) y orgánico (fibra de coco en las zonas costeras, corteza de pino, bagazo de caña, desechos de agave, pulpa de café, etc.) que pueden ser utilizados como sustratos hidropónicos. Considerando lo anterior, se estudiaron tres piedras pómez de diferente procedencia junto con el tezontle en combinación con fibra de coco, perlita y vermiculita en forma de bicapa: la inferior de pómez y la superior de otro sustrato.

## **4.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del estudio**

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Tuvo una duración de cinco meses de julio a diciembre 2013.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Los sustratos principales o base fueron tres piedras pómez recolectados en Degollado, Jalisco (P1); Perote, Veracruz (P2), Tenango, estado de México (P3) y tezontle como sustrato de comparación. Antes del llenado de bolsas los materiales fueron cribados con una malla de alambre de 1.2 cm de diámetro, dejando pasar partículas finas y gruesas no mayores al diámetro de la malla. Encima de los sustratos se añadieron capas con fibra de coco (Fc), de perlita (Per) o de vermiculita (Verm) quedando en forma de bicapa, además se incluyó como testigo tezontle (T) con una capa

de fibra de coco, teniendo en total diez tratamientos: (P1: Fc) Pómez de Jalisco: fibra de coco, (P1: Per) Pómez de Jalisco: perlita, (P1: Verm) Pómez de Jalisco: vermiculita, (P2: Fc) Pómez de Veracruz: fibra de coco, (P2: Per) Pómez de Veracruz: perlita, (P2: Verm) Pómez de Veracruz: vermiculita, (P3: Fc) Pómez de estado de México: fibra de coco, (P3: Per) Pómez de estado de México: perlita, (P3: Verm) Pómez de estado de México: vermiculita y (T: Fc) Tezontle: fibra de coco. Estos tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones, en donde cada maceta se consideró como unidad experimental.

### **Propiedades físicas de los sustratos**

Los datos de las propiedades físicas de las piedras pómez y el tezontle se obtuvieron de los estudios realizados por Ramírez-Gómez *et al.* (2015), y el resto de los sustratos de otros estudios (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Propiedades físicas de los sustratos utilizados en el experimento.**

Sustrato	DA	CRH	EPT	CA	AFD	AR	ADD
	g cm <sup>-3</sup>	-----%-----					
Piedra pómez de Jalisco <sup>a</sup>	0.8	35	73	37	13	2	20
Piedra pómez de Veracruz <sup>a</sup>	0.5	34	92	59	2	2	30
Piedra pómez de México <sup>a</sup>	0.6	35	87	52	2	2	31
Tezontle <sup>a</sup>	1.0	12	65	53	2	1	8
Fibra de coco <sup>b</sup>	0.09	63	94	52	23	8	32
Perlita <sup>c</sup>	0.12	32	96	64	17	7	8
Vermiculita <sup>d</sup>	0.01	43	94	52	-	-	-

De acuerdo con <sup>a</sup>Ramírez-Gómez *et al.* (2015); <sup>b</sup>Vargas *et al.* (2008); <sup>c</sup>Samadi (2011); Kang *et al.* (2004). DA: densidad aparente, CRH: capacidad de retención de humedad, EPT: espacio poroso total, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible.

### **Establecimiento y desarrollo experimental**

Se utilizó tomate tipo saladette híbrido SUN7705 (Nunhems<sup>®</sup> Bayer CropScience), la siembra se llevó a cabo el día 11 de junio, en charola de poliestireno de 200 cavidades. Para la germinación se utilizó turba vegetal (Sunshine Mix) y después de colocar las semillas se cubrió con vermiculita; posteriormente, se humedeció a saturación. Luego de cuatro días germinaron las semillas y las plántulas se llevaron al invernadero para su aclimatización. A los 30 días se realizó el transplante en tres camas a doble hilera utilizando bolsas de polietileno 35 x 35 cm (volumen de 9 L<sup>-1</sup>). El riego con solución nutritiva (Steiner, 1984) se aplicó en ocho eventos diarios al 25, 50 y 100% de la concentración en etapa de plántula, floración, fructificación y producción, respectivamente. Se realizaron las labores culturales tutorado, deshoje, raleo de frutos (dejando cinco frutos a partir del

segundo racimo), eliminación de brotes laterales, polinización y eliminación de brote apical después del noveno racimo.

### **Variables de rendimiento**

El registro del rendimiento y las mediciones de los diámetros se llevaron a cabo dentro del invernadero y fueron los siguientes:

#### **Diámetro polar y ecuatorial de fruto**

Para el registro de los diámetros se eligieron frutos con un tamaño promedio y se midieron con un Vernier digital estándar y milimétrico Truper.

#### **Diámetro de tallo**

Al término de la cosecha se midieron los diámetros de tallo de las plantas con el mismo Vernier.

#### **Rendimiento por planta**

La fruta se cosechó semanalmente y los frutos se pesaron con una balanza analítica Scout Pro<sup>®</sup> Ohaus.

### **Variables de calidad del jitomate**

Las lecturas y cuantificaciones de la calidad del jitomate se llevaron a cabo en el Laboratorio de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo.

#### **Color**

El color del jitomate se determinó con el método CIELCH para la escala L (luminosidad), C (croma o pureza de color) y °h (hue o ángulo de tono). Las lecturas se realizaron por duplicado en la parte ecuatorial de cada fruto (seis frutos por tratamiento) con espectrofotómetro portátil de esfera (modelo SP-62 marca X-Rite).

### **Firmeza del fruto**

Esta se llevó a cabo con el medidor T150 de 25 kgf (kilogramos fuerza) marca Chatillon® equipado con una punta cónica de 7 mm. Se hicieron dos punciones de forma opuesta en la parte ecuatorial del fruto y las lecturas obtenidas se transformaron en newtons (multiplicando por 9.81).

### **Sólidos solubles totales**

La concentración de azúcares presentes en frutos de tomate, expresados en °Brix, se obtuvieron a partir de un refractómetro digital (modelo Pal-1 Atago) colocando una gota del jugo sobre la celda del aparato.

### **Acidez titulable**

La acidez del fruto se determinó por el método descrito en AOAC (1995).

### **Ácido ascórbico**

La concentración de ácido ascórbico presente en el fruto se determinó siguiendo la metodología descrita por Albrecht (1993).

### **Análisis estadístico**

Con los datos se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Lo anterior se llevó a cabo con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 2002).

## **4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variables de rendimiento**

#### **Diámetro ecuatorial y polar de fruto**

Los sustratos con doble capa no modificaron el tamaño de los frutos de jitomate (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, el sustrato P3: Per, presentó mayor diámetro ecuatorial y polar con 59.72 y 77.10 mm, respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados contrastan a los estudios de Ramírez-

Gómez *et al.* (2015) con los mismos materiales base (piedra pómez y tezontle mezclados). Se esperaba una diferencia en el tamaño de frutos por agregar otra capa distinta a la base del sustrato, lo cual no sucedió, y que se atribuye a que el volumen y frecuencia de riego fueron suficientes para mantener el cultivo en buen estado hídrico (Flores *et al.*, 2007). Sin embargo, los frutos cosechados en este estudio son más grandes a los obtenidos por Flores-González *et al.* (2012) y Martínez *et al.* (2013) con el mismo cultivar y solución nutritiva utilizada.

**Cuadro 2. Caracterización de frutos y planta de tomate cultivado en sustratos con doble capa.**

Sustrato	Diámetro de fruto		Diámetro de tallo
	Ecuatorial	Polar	
	-----mm-----		
P1: Fc	59.09 ± 3.29	75.84 ± 2.98	12.18 ± 1.60
P1: Per	56.38 ± 2.73	73.35 ± 3.12	12.16 ± 1.22
P1: Verm	57.08 ± 0.90	72.29 ± 2.54	11.04 ± 1.26
P2: Fc	57.90 ± 2.50	76.20 ± 3.94	12.05 ± 1.43
P2: Per	56.28 ± 2.34	72.83 ± 2.99	12.09 ± 0.70
P2: Verm	59.30 ± 2.94	74.45 ± 3.77	11.82 ± 0.89
P3: Fc	58.19 ± 2.85	73.93 ± 2.58	10.22 ± 1.23
P3: Per	59.72 ± 3.49	77.10 ± 3.64	10.69 ± 1.94
P3: Verm	57.42 ± 2.61	74.04 ± 1.91	9.86 ± 2.15
T: Fc	57.41 ± 2.57	75.14 ± 3.99	9.68 ± 1.91
Significancia	ns	ns	ns
DMS	5.17	5.94	2.89
CV	4.65	4.15	13.47

P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México; Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita; ns: no significancia, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

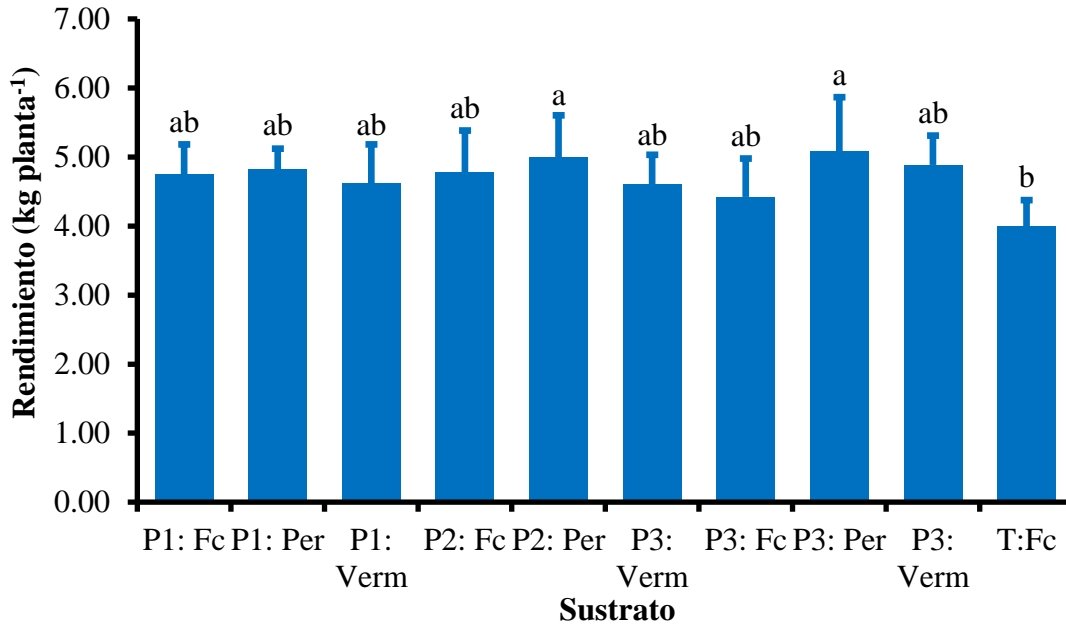


## **Diámetro de tallo**

Los sustratos no afectaron el diámetro del tallo (Tukey,  $P \leq 0.05$ , Cuadro 2); no obstante, las plantas en T: Fc tuvieron menor diámetro (9.68 mm). Resultados similares fueron obtenidos por Cruz-Crespo *et al.* (2012) al utilizar una mezcla de tezontle con dos tipos de vermicompost (65:35 v/v) en jitomate “Charleston”. Los resultados obtenidos son distintos a los de Ramírez-Gómez *et al.* (2015) al evaluar los mismos sustratos base (piedra pómez y tezontle). De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2013) las diferencias en capacidad de retención de humedad (CRH) en la reutilización del tezontle pueden afectar el diámetro de tallo. Pero también, se conoce que la fertilización nitrogenada puede afectar el grosor de las plantas (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

## **Rendimiento por planta**

De acuerdo con el análisis de varianza y comparación de medias, Tukey ( $P \leq 0.05$ ), los sustratos afectaron el rendimiento por planta de jitomate (Figura 1); se encontró que los sustratos P3: Per y P2: Per tuvieron los mayores rendimientos (5.08 y 4.99 kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente). Las piedras pómez presentan una CRH parecida y la fibra de coco, junto con la vermiculita, retienen mayor humedad. Sin embargo, es importante considerar al oxígeno para el sistema radicular del jitomate, debido a que éste comúnmente sufre por hipoxia (Schwarz *et al.*, 2014). Así, la perlita ofrece suficiente oxígeno por su alta capacidad de aireación (CA) (Acuña *et al.*, 2013). Estudios realizados por Velasco-Hernández *et al.* (2004) en la evaluación de arena, cascajo y lama en tres híbridos “Río Grande”, “Lobo” y “HMX2861 F1” de *S. lycopersicum*, obtuvieron mayores rendimientos en arena que tuvo mayor CA (16.79%) y CRH (23.98%). Por su parte, Ojodeagua *et al.* (2008) obtuvieron mejores rendimientos de tomate Gironda en suelo con mayor CRH que en tezontle rojo y negro.



**Figura 1. Rendimiento por planta de jitomate cultivado en sustratos con doble capa.** P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México; Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita. Letras distintas en cada barra indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### Variables de calidad del tomate

#### Color (luminosidad, croma y °hue)

El análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas significativas para color del fruto por efecto de los sustratos (Cuadro 3). En general, los frutos tuvieron una luminosidad promedio de 47.62, croma de 47.92 y °hue de 48.04; valores muy parecidos a los estudios previos de Ramírez-Gómez *et al.* (2015). Pero, de acuerdo con San Martín-Hernández *et al.* (2012) la luminosidad y el tono del tomate Caimán se ven afectados por el uso de diferentes tamaños de partículas de tezontle, aun manteniendo el agua fácilmente disponible (AFD); resultados muy parecidos a los encontrados se presentan por Carrillo-López y Yahia (2012) con el mismo cultivar. Asimismo, Joseph y Muthuchamy (2014) mencionan que además de encontrar diferencias en luminosidad y

tono, también las hallaron en croma en el cultivar “COTH 3” en tres sistemas hidropónicos y con tres sustratos (fibra de coco, grava y piedra volcánica). Los valores de luminosidad, croma y °hue de los frutos en el estudio están dentro de los parámetro sugeridos por Panthee *et al.* (2013).

**Cuadro 3. Efecto de los sustratos con doble capa sobre color, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y ácido ascórbico (ÁA) en frutos de tomate.**

Sustrato	Color			Firmeza	SST	ÁA
	L	C	°h	N	°Brix	mg 100 g <sup>-1</sup>
P1: Fc	47.87 ± 1.14	46.56 ± 2.76	47.33 ± 1.81	21.15 ± 2.01	4.75 ± 0.23	62 ± 5.00
P1: Per	48.58 ± 1.35	47.54 ± 2.64	47.35 ± 1.58	21.60 ± 3.11	4.85 ± 0.34	59 ± 5.00
P1: Verm	47.36 ± 1.02	49.08 ± 1.78	47.33 ± 1.58	20.02 ± 3.29	4.73 ± 0.44	61 ± 2.00
P2: Fc	48.59 ± 1.29	46.53 ± 2.39	49.09 ± 2.25	22.38 ± 2.44	4.67 ± 0.48	60 ± 1.00
P2: Per	48.03 ± 1.30	47.81 ± 3.43	49.06 ± 0.72	21.91 ± 1.55	4.57 ± 0.30	60 ± 3.00
P2: Verm	46.57 ± 0.92	50.01 ± 2.34	48.56 ± 1.87	18.00 ± 3.99	4.70 ± 0.33	62 ± 2.00
P3: Fc	47.02 ± 1.53	48.44 ± 2.44	47.37 ± 2.75	17.52 ± 4.17	4.65 ± 0.33	62 ± 5.00
P3: Per	46.86 ± 0.60	48.85 ± 2.90	47.72 ± 2.11	19.97 ± 4.07	4.47 ± 0.29	63 ± 2.00
P3: Verm	47.35 ± 0.97	48.16 ± 2.95	47.44 ± 3.25	18.55 ± 3.24	4.57 ± 0.40	62 ± 4.00
T: Fc	47.95 ± 0.80	46.24 ± 2.90	49.19 ± 2.31	22.28 ± 3.21	4.55 ± 0.36	58 ± 4.00
Sig.	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DMS	2.19	5.23	3.86	6.22	0.59	6.97
CV	2.39	5.68	4.18	15.93	6.56	5.94

P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México; Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita; L: luminosidad, C: croma, °h: tono hue, N: newton; ns: no significancia, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Sig: significancia, DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

## **Firmeza**

Después del color del jitomate, la firmeza es una variable de calidad muy importante para los consumidores y en el experimento se cosecharon frutos muy firmes (20.34 N en promedio), pero no fueron estadísticamente diferentes por efecto de sustratos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Estos resultados coinciden con Cruz-Crespo *et al.* (2012) en jitomate “Charleston” cultivados en tezontle y vermicompost. No obstante, se ha encontrado que algunos sustratos modifican la firmeza de los frutos; como los ensayos de Martínez-Gutiérrez *et al.* (2015) con tomate tipo pera “Don Raul” usando diferentes tamaños de partícula de bagazo de agave y fibra de coco y por estudios de Ramírez-Gómez *et al.* (2015) con el mismo cultivar (SUN7705; Nunhems® Bayer CropScience), dónde la mayor firmeza se encontró con tezontle de menor CRH. Asimismo, Tzortzakis y Economakis (2008) encontraron mejores firmezas de jitomate bola “Belladonna” (Hazera Genetics, Israel) en rastrojo de maíz que en perlita.

## **Sólidos solubles totales**

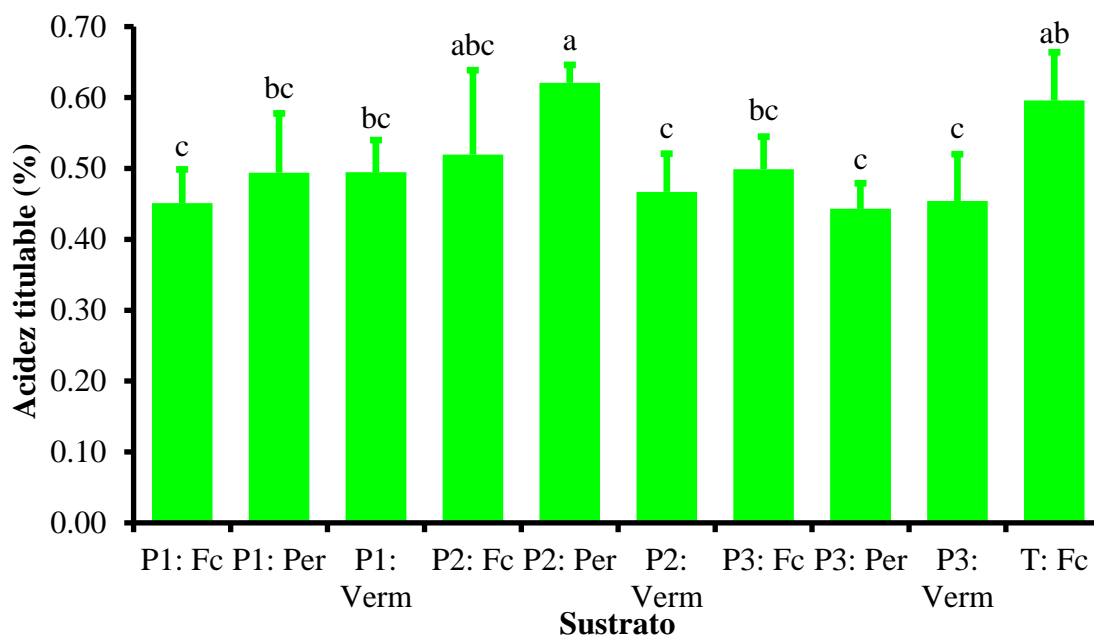
Los sustratos no variaron los SST y se tuvo en promedio 4.65 °Brix (Cuadro 3). Al parecer la alta o baja CRH de los sustratos no modifican los azúcares del jitomate, como lo demuestran Luitel *et al.* (2012) en cuatro cultivares de tomate (Campari, Temptation, Annamay, y Adoration) producidos en fibra de coco, lana de roca y otro sustrato inorgánico de la región. Lo mismo señalan Mohammadi *et al.* (2011) pero ahora en fibra de coco, perlita y turba de palma. Sin embargo, cuando los sustratos inorgánicos como la arena y roca volcánica son comparados con suelo, éste último mejora los SST de los tomates (Fandi *et al.*, 2008).

### **Ácido ascórbico**

Los sustratos no modificaron la cantidad de ácido ascórbico en los jitomates y se tuvo un promedio de 61 mg 100 g<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Estos resultados se apoyan de los estudios de Suárez *et al.* (2007) en seis cultivares de tomate (Dorothy, Boludo, Dominique, Thomas, Dunkan, Overall) producidos en sistema convencional, orgánico e hidropónico. De la misma forma, Toor y Savage (2006) no encontraron diferencia de vitamina C en tres cultivares (Excell, Tradiro y Flavourine) pero ahora en condiciones de suelo semiárido. No obstante, Borji y Mehrdad (2012) mencionan que se tiene mayor ácido ascórbico cuando se utiliza turba de palma mezclado con perlita que usando perlita únicamente.

### **Acidez titulable**

De la calidad del jitomate solo la acidez titulable se modificó por el efecto de los sustratos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). De todos, el P2: Per y T: Fc tuvieron mayor porcentaje de acidez con 0.62 y 0.60%, respectivamente (Figura 2). Resultados muy similares fueron hallados por Ramírez-Gómez *et al.* (2015); donde, la mayor acidez titulable se encontró en los sustratos con menor CRH. Por el contrario, Dobričević y Voća (2008) no hallaron cambios en la acidez del jitomate con el uso de: arcilla expandida, lana de roca, perlita y turba. Lo mismo, reportan Dannehl *et al.* (2015) con el uso de diversos sustratos (lana de roca, turba vegetal, cáñamo y lana de oveja) y por San Martín-Hernández *et al.* (2012) estudiando diferentes tamaños de partícula de tezontle en jitomate “Caimán, ENZA ZADEN®”. Sin embargo, la acidez está más relacionado con el estado de madurez del jitomate (Tigist *et al.*, 2011).



**Figura 2. Acidez titulable de jitomate producido en sustratos de doble capa.** P1: piedra pómez de Jalisco, P2: piedra pómez de Veracruz, P3: piedra pómez de México, Fc: fibra de coco, Per: perlita, Verm: vermiculita.

#### 4.4. CONCLUSIONES

El uso de las piedras pómez como sustrato base y con adición de fibra de coco, perlita y vermiculita no cambian el diámetro de tallo, polar y ecuatorial de fruto. Pero, si tiene efecto hacia el rendimiento por planta, dónde las piedras pómez con perlita son mucho mejores que el tezontle como sustrato base. Igualmente, los sustratos utilizados no modifican la calidad del tomate, solo en la concentración de acidez titulable.

#### 4.5. LITERATURA CITADA

- Abad, M., F. Fornes, C. Carrión, V. Noguera, P. Noguera, Á. Maquieira, and R. Puchades. 2005.** Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience* 40: 2138–2144.
- Acuña, R.A., Bonachela, S., Magán, J.J., Marfà, O., Hernández, J.H., Cáceres, R., 2013.** Reuse of rockwool slabs and perlite grow-bags in a low-cost greenhouse: Substrates' physical properties and crop production. *Scientia Horticulturae* 160: 139–147.
- Albrecht, J. A. 1993.** Ascorbic acid and retention in lettuce. *Journal of Food Quality*. 16: 311-316.
- AOAC. 1995.** Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. USA.
- Asaduzzaman, M., M. Saifullah, A.K.M. S. R. Mollick, Md. M. Hossain, GMA. Halim and T. Asao. 2015.** Influence of soilless culture substrate on improvement of yield and produce quality of horticultural crops. *In: Asaduzzaman, M. (ed.). Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops. Chapter 1. InTech.*
- Borji, H. and G. Mehrdad J. 2012.** A comparison between tomato quality of mature green and red ripe stages in soilless culture. *African Journal of Agricultural Research* 7: 1601-1603.
- Cadahía, L. C. 2005.** Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Carrillo-López, A., Yahia, E.M., 2012.** Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APCI+-mass Spectrometry. *Journal of Food Science and Technology* 51: 2720–2726.

- Castellanos, J. Z., y Ojodeagua J. L. 2009.** Formulación de la solución nutritiva *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* (Ed.) Castellanos, J. Z. Intagri, Celaya Guanajuato.
- Cruz-Crespo, E., and M. Sandoval-Villa. 2012.** Effect of the nutrient solution concentration and substrates mixture on the quality of tomato. *Acta Horticulturae* 947: 197-202.
- Dannehl, D., J. Suhl, Ch. Ulrichs, and U. Schmidt. 2015.** Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 88: 68–77.
- Dobričević, N. and S. Voća. 2008.** Effects of substrate on tomato quality. *Acta Horticulturae* 779: 485-489.
- Fandi, M., Al-Muhtaseb, J.A., Hussein, M.A., 2008.** Yield and fruit quality of tomato as affected by the substrate in an open soilless culture. *Jordan Journal of Agricultural Sciences* 4: 65-72.
- Flores, J., Ojeda-Bustamante, W., López, I., Rojano, A., Salazar, I., 2007.** Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 127-134.
- Flores-González, D., M. Sandoval-Villa, P. Sánchez-García, P. Ramírez-Vallejo, and G. M. N. Rodríguez-García. 2012.** Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae* 947: 69-76.
- Joseph, A. and I. Muthuchamy. 2014.** Productivity, quality and economics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivation in Aggregate Hydroponics – A case study from Coimbatore region of Tamil Nadu. *Indian Journal of Science and Technology* 7: 1078–1086.
- Kang, J. Y., Lee, H. H. and Kim K. H. 2004.** Physical and Chemical Properties of Inorganic Horticultural Substrates Used in Korea. *Acta Horticulturae* 644: 237-241.



- Luitel, B.P., Adhikari, P.B., Yoon, C.S., Kang, W.H., 2012.** Yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars established at different planting bed size and growing substrates. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 53: 102–107.
- Martínez-Gutiérrez, A.G., Cruz, A.B., Tinoco, C.E., Cruz, J.Y.L., Urrestarazu, M., 2015.** Effect of particle size and reused organic substrates on tomato crop production. *Journal of Plant Nutrition* 38: 1877–1884.
- Martínez, L.M., Velasco, V.A.V., Luna, J.R., Valle, J.R.E., Ángeles, G.V.C., Lugo, M.L.M., 2013.** Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1175-1184.
- Mohammadi, A. G., H. Borji and M. Jafarpour. 2011.** Effect of some culture substrates (date-palm peat, cocopeat and perlite) on some growing indices and nutrient elements uptake in greenhouse tomato. *African Journal of Microbiology Research* 5: 1437-1442.
- Moreno, R., Aguilar, D. y Luévano, G. 2011.** Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 29: 763-774.
- Ojodeagua A. J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina C., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008.** Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 367-374.
- Panthee, D.R., Labate, J.A., McGrath, M.T., Iii, A.P.B., Robertson, L.D., 2013.** Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica* 193: 169–182.
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A.M., Valdés-Aguilar, L.A., Moreno-Pérez, E. del C., 2012.** Aserrín de pino como sustrato

- hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. Revista Chapingo Serie Horticultura 18: 95–111.
- Ramírez-Gómez, H., M. Sandoval-Villa, J. Pineda-Pineda, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos, and P. Sánchez-García. 2015.** The effects of pumice characteristics on the yield and quality of tomatoes. *Wulfenia Journal* 22: 365-382.
- Rodríguez D. E., E. Salcedo P., R. Rodríguez M., D. R. González E. y S. Mena M. 2013.** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Terra Latinoamericana* 31: 275-284.
- Samadi, A. 2011.** Effect of particle size distribution of perlite and its mixture with organic substrates on cucumber in hydroponics system. *Journal of Agriculture Science and Technology* 13: 121-129.
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V.M., Sánchez-García, P., Colinas-Leon, B., T, M., Borges-Gómez, L., 2012.** Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243–254.
- Steiner, A. A. 1984.** The universal nutrient solution. Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC. The Netherlands. p. 633-650.
- Schwarz, D., Thompson, A.J., Kläring, H.-P., 2014.** Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-16.
- Suárez, M.H., Rodríguez, E.R., Romero, C.D., 2007.** Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *European Food Research and Technology* 226: 423–435.
- SAS Institute. 2002.** SAS/STAT User’s Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute, Cary, NC, USA.

- Tigist, M., Workneh, T.S., Woldetsadik, K., 2011.** Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology* 50: 477–486.
- Toor, R.K., Savage, G.P., 2006.** Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry* 94: 90–97.
- Tzortzakis, N.G., Economakis, C.D., 2008.** Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *Horticultural Science* 35: 83–89.
- Urrestarazu, M. 2004.** Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-Barcelona-México, pp. 857 -863.
- Vargas, T. P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R. y J. L. Ojodeagua A. 2008.** Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 375-381.
- Velasco-Hernández, E., I. Miranda-Velázquez, R. Nieto-Ángel, H. Villegas-Rodríguez. 2004.** Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10: 239-246.

## 5. DISCUSIÓN GENERAL

El objetivo del estudio fue evaluar tres piedras pómez colectadas en distintos lugares de México y determinar su efecto en el rendimiento y calidad del tomate SUN7705 en hidroponía e invernadero. También, se evaluó la relación piedra pómez con fibra de coco y perlita. Igualmente, el uso de la pómez con adición de fibra de coco, perlita y vermiculita. Los resultados de la investigación indican que si se eliminan partículas mayores a 1.2 cm, a través del cribado, se tiene mayor DA, pero disminuye la CA y el EPT. Lo anterior, coinciden con los estudios de Vargas *et al.* (2008) y de San-Martín-Hernández (2012) realizados con diferentes granulometrías de tezontle. Además, se tiene una correlación positiva de la DA y del EPT ( $R^2=0.90$ ). El acomodo de las partículas finas en los espacios entre partículas aumenta la DA y a la vez una disminuye el EPT (Verdonck y Demeyer, 2004), aunado a la naturaleza misma de la piedra pómez por presentar distintos tamaños y formas de poros (Klug *et al.*, 2002). Los estudios revelaron que las tres piedras pómez tienen mayor CRH que el tezontle. Zazirska *et al.* (2009) indican que la piedra pómez solo se utiliza para aumentar la CA, EPT y drenaje con sustratos orgánicos de mejor CRH; sin embargo, si se disminuye el tamaño de partículas es posible aumentar la CRH; esta posibilidad puede confirmarse con investigaciones posteriores. De acuerdo a la curva de liberación de agua, el tezontle percoló rápidamente el agua a 10 cm de columna (1 kPa), lo cual no sucedió con las piedras pómez, a esta característica de las pómez le confirieron mejores respuestas en diámetro de tallo, tamaño de frutos y rendimiento por planta. Por otra parte, se tuvieron frutos más firmes y de mayor acidez titulable en tezontle, lo que se atribuye a baja CRH del tezontle.

En el segundo trabajo de investigación, sobre el efecto de la relación pómez con fibra de coco y perlita en el rendimiento y calidad del tomate se tuvieron resultados similares en propiedades

físicas que en el primer trabajo de investigación. Las piedras pómez mezcladas con fibra de coco en una proporción 1:1, tuvieron bajas DA y mayores porcentajes de EPT y de CRH. Aun con la mezcla de dos sustratos (1:1), la fibra de coco dominó las propiedades físicas, dándole ligereza, porosidad y mayor retención de agua a la mezcla final, además de aumentar el AFD para las plantas (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011). Así, la curva de liberación de agua con la proporción 1:1 es parecida a un sustrato orgánico. Con esto, se esperaba un efecto similar al estudio anterior, sin embargo no sucedió. Se tuvieron cambios significativos en diámetro de tallo, tamaño del fruto, pero no en rendimiento. Es importante mencionar que las plantas necesitan de oxígeno, y mantener un balance óptimo de agua y aire en sustratos se refleja en una mejora de producción en los cultivos (Vence, 2008).

En el último estudio de sustrato bicapa, las piedras pómez con adición de perlita favorecieron en el rendimiento y con mayor acidez de frutos. Como se ha estado revisando, un sustrato con proporciones adecuadas de humedad y aire favorecen a la planta, considerando a la raíz un órgano que requiere ciertas cantidades de oxígeno. De manera general, se acepta parcialmente la hipótesis planteada, es decir, las diferentes piedras pómez con distinta granulometría, la mezcla de ellas con fibra de coco y perlita, y el uso de sustrato bicapa cambian algunas variables respuesta de rendimiento y calidad del tomate SUN7705. Asimismo, se recomienda realizar estudios de micromorfología de las distintas piedras pómez de México, ya que son diferentes y por lo tanto, las respuestas en los cultivos pueden ser distintos.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

En esta investigación se determinaron las características físicas de las diferentes piedras pómez, la relación con la fibra de coco y perlita y el uso de sustrato bicapa en el rendimiento y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en hidroponía e invernadero. Del trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) Se demostró que las tres piedras pómez son distintas en sus propiedades físicas. Se tiene mayor capacidad de retención de humedad y de espacio poroso total en las piedras pómez que en tezontle. Por lo tanto, se tuvo mayor diámetro de tallo, tamaño de frutos y rendimiento en las primeras. Además, cambiaron la firmeza y acidez titulable de frutos.
- 2) Las propiedades físicas de la mezcla de piedra pómez con fibra de coco y perlita fueron diferentes. Con la proporción 1:1 (v/v) de piedra pómez y fibra de coco se incrementó la capacidad de retención de humedad, el espacio poroso total y el agua fácilmente disponible, que finalmente se tradujo en mayor grosor de tallo y tamaño de frutos. También se detectó que en la proporción 1:1 pómez:fibra de coco se tuvo alta capacidad de retención de humedad y en consecuencia los frutos fueron ligeramente menos firmes.
- 3) Con el sustrato bicapa de piedras pómez con adición de perlita se tuvieron mayores rendimientos por planta y un incremento leve de la firmeza del tomate.

## 7. LITERATURA CITADA

**Gutiérrez-Castorena. M. D., J. Hernández E., C. A. Ortiz-Solorio, R. Anicua S., M. E.**

**Hernández L. 2011.** Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. Revista Chapingo Serie Horticultura 17: 183–196.

**Klug, C., K. V. Cashman and C. R. Bacon. 2002.** Structure and physical characteristics of pumice from the climactic eruption of Mount Mazama (Crater Lake), Oregon. Bulletin of Volcanology, 64, 486–501.

**San-Martín-Hernández, C., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M. Sandoval-Villa, M. T. B. Colinas-León and L. C. Borges-Gómez. 2012.** Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in different sizes of “tezontle”. Acta Horticultura 947: 111-118.

**Vargas T. P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R., J. L. Ojodeagua A. 2008.** Caracterización física química y biológica de sustratos de polvo de coco. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 375-381.

**Vence, L. B. 2008.** Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. Ciencia del Suelo 26: 105-114.

**Verdonck, O.; Demeyer, P. 2004.** The Influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. Acta Horticultura 644: 99-101.

**Zazirska G. M., J. E. Altland, and J. S. Owen Jr. 2009.** Effect of peat moss and pumice on the physical and hydraulic properties of Douglas fir bark based soilless substrate. HortScience 44: 874-878.