



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

**PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE PIMIENTO MORRÓN
(*Capsicum annum* L.) EN SUSTRATOS
DERIVADOS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS**

HERMELINDO PÉREZ LÓPEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada **Producción de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos derivados de residuos agrícolas**, realizada por el alumno **Hermelindo Pérez López**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. FERNANDO CARLOS GÓMEZ MERINO

ASESORA


DRA. LIBIA IRIS TREJO-TÉLLEZ

ASESORA


DRA. SOLEDAD GARCÍA MORALES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre del 2013

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) EN SUSTRATOS DERIVADOS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS.

Hermelindo Pérez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

Con el propósito de encontrar alternativas y tratar de reducir el impacto ambiental que ocasiona el uso de la turba y otros materiales convencionales, se evaluaron subproductos orgánicos agroindustriales (bagazo de la caña de azúcar, cachaza y cascarilla de café) en combinación con material inorgánicos (tezontle). El objetivo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos basados en residuos agrícolas y evaluar su uso en la producción de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón. Los sustratos fueron: 1) TZBZ: tezontle + bagazo de la caña; 2) TZCC: tezontle + cascarilla de café; 3) TZCZ: tezontle + cachaza; y 4) TZ: tezontle; formuladas en una proporción 40/60 (v/v). Como variable de respuesta se contabilizó porcentaje de germinación, altura de plántulas, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de la raíz, peso seco de la raíz y parte aérea de la plántula, concentración y acumulación nutrimental. Se utilizó un diseño de tratamiento factorial (4x5) donde los factores de estudio fueron el sustrato y la variedad, con 20 tratamientos y 32 unidades experimentales por tratamiento, con un diseño en parcelas divididas donde la parcela grande fue el sustrato y la parcela chica fue la variedad. Los resultados de la caracterización física de los sustratos evaluados mostraron que el material con menor espacio poroso total fue en el tezontle (57%); mientras que el TZCC mostró el mayor nivel (72%). El tezontle mostró una densidad aparente superior a la de referencia, mientras que el resto de los sustratos se consideran dentro del intervalo. Los sustratos evaluados observaron valores no adecuados de agua fácilmente aprovechable, siendo el tezontle el que tuvo valores más altos de agua no disponible (35.5%) y un porcentaje de agua de reserva de 1.2%, en tanto que el resto de los sustratos mostró valores de agua de reserva de 8.37 a 9.95%. Respecto a la concentración nutrimental, el sustrato a base de cascarilla de café mostró concentraciones más altas de los nutrimentos N, P, K, Fe, Zn, Mn y B. Por el contrario, el TZ registró ausencia de Fe, Zn y Mn, y deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y de micronutrimentos con excepción del B. El menor porcentaje de germinación se observó en las variedades Yolo Wonder y California, mismas que registraron menor diámetro de tallo, número de hojas, longitud de la raíz, peso de la materia seca de raíces y parte aérea. Las variedades Sympathy y Zidenka fueron las que sobresalieron en las variables antes mencionadas. En general, las mejores respuestas en las plantas se observaron en los sustratos a base de tezontle y tezontle + cachaza. La concentración de N entre variedades no fue estadísticamente diferente. La variedad Sven F1 mostró mayor concentración de macronutrimentos en el vástago, con excepción de la concentración de K y contrario la variedad Zidenka registró menores concentraciones de P, K, Ca y Mg.

Palabras clave: *Sustrato lignocelulósicos, cachaza, bagazo, cascarilla de café, germinación, nutrición vegetal.*

PRODUCTION OF PEPPER (*Capsicum annuum* L.) SEEDLINGS ON SUSTRATES OF AGRICULTURAL RESIDUES.

Hermelindo Pérez López, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2013

In order to find alternatives and try to reduce the environmental impact caused by the extraction of peat moss and other conventional substrates, we aimed to evaluate organic byproducts derived from agroindustrial activities (sugarcane bagasse, cachasse and coffee husk) in combination with an inorganic material (tezontle). The objective was to characterize the physical and chemical properties of the resulting substrate mixtures and evaluate their use in the production of seedling of five pepper varieties. Substrate mixtures were: 1) TZBZ: tezontle + sugarcane bagasse; 2) TZCC: tezontle + coffee husk; 3) TZCZ: tezontle + sugarcane cachasse; and 4) TZ: tezontle; formulated in a ratio of 40/60 (v/v). Response variables included percentage of germination, plant height, stem diameter, leaves number, root length, root and shoot dry biomass, and nutrient concentration and accumulation. A factorial (4x5) experiment was used; whose factors were substrate and variety. Combination of factors resulted in 20 treatments, and 32 experimental units per treatment. The experimental design consisted of divided plots, with the small plot being represented by the variety, and the large plot by the substrate. Tezontle was shown to display the less total porosity space (57%); whereas TZCC showed the highest level (72%). Tezontle observed a high bulk density in comparison to reference values, while the rest of substrates are considered among the normal interval. All substrates showed not ideal conditions for water easily available; and tezontle displayed the highest values for water non available (35.5%) and a percentage of reserve water of 1.2%, while the other substrates showed reserve water among 8.37 and 9.95%. Concerning nutrient concentration in plant tissue, TZCC showed the highest values for N, P, K, Fe, Zn, Mn and B. Conversely, TZ registered no presence of Fe, Zn and Mn, and deficiency of N, P, K, Ca, Mg and most micronutrients, except B. The lowest percentage of germination was observed in the varieties Yolo Wonder and California, which also showed lower stem diameter, number of leaves, root length, root and shoot dry matter weight. The varieties Sympathy and Zidenka stood out from the rest. In general, the best responses of plants were observed in tezontle and tezontle + cachasse. The variety Sven F1 displayed higher concentration of macronutrients in shoot, with the exception of K, while the variety Zidenka showed less P, K, Ca and Mg concentrations.

Palabras clave: *Lignocelulosic substrates, cachasse, bagasse, coffee husk, Solanaceae, germination, plant nutrition.*

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida, y por darme salud y esperanza para terminar este presente trabajo y superarme espiritualmente.

A mis padres Antonio Pérez Juárez y María López López, porque me comprendieron al haber elegido mi camino, con su enseñanza, amor y confianza, fortalecieron mi vida. Gracias por sus valiosos consejos, esfuerzos y sacrificios, logrando el triunfo que hoy les brindo con admiración y respeto.

A mi esposa Teresa Martínez Pérez, gracias por su amor, cariño, paciencia; por su valioso apoyo y consejo cuando más lo necesitaba y estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida. Con amor y ternura le dedico este logro.

A mi adorado hijo Jesús Ángel Pérez Martínez, quien es la razón de mí ser. Las plantas necesitan luz para vivir, y tú eres mi luz, porque sin ti me marchitaría.

A mis hermanos Nicolás Pérez Méndez, Emilio Pérez López y Oscar Pérez López, quienes me brindaron sus mejores consejos en el aspecto emocional y siempre estuvieron presentes cuando más los necesitaba para terminar mi postgrado.

A mis sobrinos Nelly Roció, Elí Joel, Antonio Nicolás y Ana Karen, gracias Ustedes son la nueva generación de la familia, y con mucho amor y cariño les dedico este trabajo para que se motiven a buscar ese camino verdadero.

A mi amigo Santos Bersain Pérez González, por sus valiosos consejos en momentos oportunos, quien nunca me dejó cuando más lo necesitaba. Desde dentro de mi corazón, lo siento parte de la familia por tanto cariño y amor que me ha brindado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me ha brindado y también a los mexicanos que pagan impuestos para culminar mi postgrado.

Gracias al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, y a los programas de postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal y Edafología, por permitirme ser parte de su grandiosa institución dándome la oportunidad de realizar mis estudios y formarme como profesionista y persona.

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

A mis consejeros, Dr. Fernando C. Gómez Merino, Dra. Libia Iris Trejo-Téllez, Dra. Soledad García Morales, por compartir conmigo su interés y sus valiosos conocimientos, por la formación que me proporcionaron, por su orientación siempre impecable, por su dedicación en todo momento, y especialmente por su calidad humana. Gracias por sus valiosos conocimientos y nunca olvidaré la riqueza de sus enseñanzas y siempre estarán grabados en mi corazón.

A mis profesores Dra. Libia Iris Trejo-Téllez, Dr. Prometeo García Sánchez, Dr. Manuel Sandoval Villa, Dr. Arturo Galvis Spínola, Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, quienes me dieron lo mejor de sus enseñanzas en el salón de clases y así formarme como profesionista.

A los laboratoristas Juan Manuel y Roberto por los valiosos apoyo que me brindaron durante el análisis de las muestras del experimento.

A todos muchas gracias

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.1.1. Objetivos específicos.....	4
2.2. Hipótesis general.....	5
2.2.1. Hipótesis específicas.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	6
3.1 Sustratos.....	6
3.1.1. Tipos de sustrato.....	6
3.1.2. Características deseables de un sustrato.....	8
3.1.3. Sustratos en la producción de plántulas de pimiento morrón...	9
3.2. Sustratos derivados de subproductos agrícolas.....	10
3.2.1. Bagazo de la caña.....	10
3.2.2. Cachaza.....	11
3.2.3. Cascarilla de café.....	14
3.3 Parámetros de la calidad de plántula de pimiento morrón.....	15
3.3.1 Concepto de la calidad.....	15
3.3.2. Indicadores de calidad de plántulas.....	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1. Ubicación del experimento.....	17
4.2. Material vegetal.....	17

	Página
4.3. Sustratos.....	19
4.4. Proceso de germinación.....	20
4.5. Tratamientos probados y diseños experimental.....	20
4.6. Variables evaluadas.....	21
4.6.1 Caracterización física de los sustratos.....	21
4.6.1.1 Densidad aparente (Da).....	21
4.6.1.2 Densidad real (Dr).....	21
4.6.1.3 Retención de humedad.....	22
4.6.2 Caracterización química de los sustratos.....	23
4.6.2.1 pH y conductividad eléctrica.....	23
4.6.2.2 Iones solubles.....	23
4.6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	23
4.6.3 Porcentaje de germinación.....	24
4.6.4 Altura de plántula.....	24
4.6.5 Diámetro del tallo.....	24
4.6.6 Número de hojas.....	24
4.6.7 Longitud de la raíz.....	24
4.6.8 Peso seco de la raíz y parte aérea.....	25
4.6.9 Concentración nutrimental en Vástago.....	25
4.6.10 Acumulación nutrimental en vástago.....	26
4.7 Análisis estadísticos.....	26
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1 Caracterización física de los sustratos.....	27
5.2 Caracterización química de los sustratos.....	31
5.3 Germinación.....	35
5.4 Altura de plántula.....	41
5.5 Diámetro de tallo.....	42
5.6 Número de hojas.....	44
5.7 Longitud de raíz principal.....	45
5.8 Peso seco de parte aérea.....	46

	Página
5.9 Peso seco de raíces.....	48
5.10 Concentración nutrimental.....	49
5.11 Acumulación nutrimental.....	51
VI. CONCLUSIONES.....	54
VII. LITERATURA CITADA.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Características de las variedades de pimiento morrón evaluadas en diferentes combinaciones de sustratos derivados de residuos agrícolas.....	18
Cuadro 2 Espacio poroso total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad y densidad real y densidad aparente de los sustratos en estudio.....	27
Cuadro 3 Parámetros de las curvas de liberación de humedad de cuatro sustratos conteniendo residuos agrícolas.....	31
Cuadro 4 Valores de pH y la conductividad eléctrica en los sustratos utilizados en la producción de plántulas de pimiento morrón.....	32
Cuadro 5 Concentración nutrimental en el extracto de la pasta de saturación de los sustratos conteniendo residuos agrícolas.....	33
Cuadro 6 Niveles óptimos de concentración nutrimental asimilables para el cultivo en sustrato orgánico.....	34
Cuadro 7 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables en los sustratos en estudio.....	35
Cuadro 8 Concentración de macronutrientes en vástagos por efecto de variedad y de sustrato.....	49
Cuadro 9 Concentración de micronutrientes y sodio en vástagos por efecto de variedad y de sustrato.....	50
Cuadro 10 Acumulación de macronutrientes, micronutrientes y sodio en vástagos por efecto de variedad.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Curva de liberación de agua de los sustrato evaluados en esta investigación. A) Tezontle y bagazo de caña (TZBZ); B) Tezontle y cascarilla de café (TZCC); C) Tezontle y cachaza (TZBZ). A, B y C en una proporción 40:60 (v:v), respectivamente. D) Tezontle (TZ). ADD=agua difícilmente disponible; AR=agua de reserva; AFD=agua fácilmente disponible.....	29
Figura 2	Porcentaje de germinación de cinco variedades de pimiento morrón en diferentes sustratos, evaluado entre los 13 y 39 días después de la siembra. A1 y A2=California con diferentes escalas; B=Sven F1; C=Sympathy; D=Yolo Wonder; E=Zidenka F1.....	37
Figura 3	Porcentaje de germinación en función del sustrato utilizado, evaluado entre los 13 y 39 días después de la siembra. A=TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; B=TZCZ: Tezontle + cachaza; C=TZCC: Tezontle + cascarilla de café; D=TZ: Tezontle.....	40
Figura 4	Altura de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 4B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	42
Figura 5	Diámetro de tallo de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 5B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	43
Figura 6	Número de hojas en plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 6B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	44
Figura 7	Longitud de raíz principal de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 7B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	46

Figura 8	Peso seco de parte aérea (vástago) de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 8B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	47
Figura 9	Peso seco de raíces de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 9B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	48
Figura 10	Acumulación de macronutrientes en vástagos de plántulas de pimiento morrón, por sustrato usado a los 62 días después de la siembra. TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	52
Figura 11	Acumulación de micronutrientes y sodio en vástagos de plántulas de pimiento morrón, por sustrato usado a los 62 días después de la siembra. TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....	53

I. INTRODUCCIÓN

De manera natural, el suelo es el soporte y a la vez el medio donde la planta encuentra el agua, los nutrimentos y el oxígeno necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción. Para la producción en invernadero, sin embargo, el uso del suelo no es recomendable, debido a la falta de una distribución uniforme de las partículas, pobre porosidad, deficiente drenaje, propiedades químicas variables, fuentes potenciales de contaminación y agentes infecciosos (Cabrera, 1999); por esta razón surge la necesidad de recurrir al uso de sustratos.

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, usado en forma pura o en mezcla para contenedores o macetas, que permite el anclaje del sistema radicular de la planta y que puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición vegetal (Cruz-Crespo *et al.*, 2012; Vence, 2008).

Los sustratos pueden ser naturales o artificiales, tanto orgánicos como inorgánicos o minerales. En un contenedor, los sustratos constituyen sistemas formados por tres fases: una fase sólida (que asegura el anclaje del sistema radical y la estabilidad de la planta); una fase líquida (que garantiza el suministro de agua y nutrimentos a la planta); y una fase gaseosa (que facilite intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre las raíces y el medio externo) (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

La calidad del sustrato es uno de los factores que más influyen en el desarrollo de las plántulas. Un buen sustrato tiene las propiedades físicas y químicas que promueven el crecimiento rápido y saludable de las plantas, actuando de manera conjunta. Entre las

propiedades físicas, las relacionadas con la disponibilidad de agua y aire para las raíces son las más importantes dentro del estudio de estos materiales cuando se usan contenedores en la producción de plántulas ([Cabrera, 1999](#); [Vence, 2008](#)).

La mezcla de materiales resulta determinante en la obtención de un sustrato adecuado para la producción de plántula en contenedores, especialmente si se trata de materiales locales o regionales, como una alternativa a los que normalmente se utilizan en agricultura de precisión (turba, agrolita y perlita). Una de las ventajas que representa el uso de sustratos alternativos regionales es su disponibilidad y menor costo, más aun los de origen orgánico, dada la tendencia al manejo de sistemas de producción con enfoque sustentable ([Porter-Humpert, 2000](#); [Cruz-Crespo et al., 2012](#)). Actualmente los sustratos alternativos más utilizados son: bagazo de maguey, desechos de prácticas agrícolas y forestales (pulpa de café, cascarilla de arroz, aserrín, bagazo de caña de azúcar, orujo de uva, orujo de aceituna, entre otros) ([De Medeiros et al., 2008](#); [De Grazia et al., 2007](#); [Gomes et al., 2008](#); [Kaciu et al., 2009](#)), así como materiales procesados de la planta acuática *Hydrilla vertillata* ([Santos-Castillo y Camajo-Bareiro, 2010](#)), por mencionar algunos.

En el caso de México, es común utilizar materiales como tezontle, cascarilla de café, cachaza y bagazo de la caña de azúcar ([San Martín-Hernández, 2012](#); [López-Baltazar et al., 2013](#)) en mezclas de sustratos para la producción de plántulas en invernadero.

Por otra parte, a nivel nacional la producción de plántulas hortícolas para trasplante bajo condiciones de invernadero, inicio su auge principalmente en la región noroeste de México en la década de los setenta y ochenta. Las principales especies producidas son

chile y tomate. Se estima que en el país hay 4,500 ha de invernadero para la explotación hortícola, solo 150 ha son destinados a la producción de plántulas de chile y tomate para trasplante, con una superficie de 31,000 ha ya establecidas en el campo (SAGARPA, 2001).

En el presente trabajo se evaluó el uso potencial de sustratos basados en residuos agrícolas para la producción de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos basados en residuos agrícolas y evaluar su uso en la producción de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

2.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar físicamente las mezclas de sustratos en base a residuos agrícolas.
- Determinar las propiedades químicas de las mezclas de sustratos conteniendo residuos agrícolas.
- Determinar el efecto de los sustratos conteniendo residuos agrícolas en la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón.
- Evaluar el efecto de sustratos conteniendo residuos agrícolas sobre indicadores morfológicos y fisiológicos de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón.
- Establecer el efecto de sustratos conteniendo residuos agrícolas en la concentración y acumulación nutrimental de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón.

2.2 Hipótesis general

Las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados conteniendo residuos agrícolas tienen efectos diferenciales en la producción de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón.

2.2.1 Hipótesis específicas

- Los sustratos evaluados tienen diferentes características físico-químicas en la producción de plántulas de pimiento morrón.
- El sustrato basado en la combinación de bagazo de caña con tezontle, posee propiedades químicas adecuadas y concentraciones de elementos esenciales que favorecen la producción de plántulas de pimiento.
- Los sustratos evaluados tienen efectos diferenciales sobre la germinación de semillas y la sobrevivencia de plántulas de cinco variedades de pimiento morrón.
- En el sustrato conteniendo bagazo de la caña, las plántulas de las cinco variedades evaluadas muestran mayor crecimiento y calidad morfológica.
- En plántulas establecidas en el sustrato conteniendo bagazo de la caña, la concentración y acumulación nutrimental es mayor en vástago.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Sustratos

Un sustrato es un material sólido distinto al suelo *in situ* (Abad-Berjon *et al.*, 2004); no obstante, algunos sustratos pueden contener arcilla y arena (Raviv y Lieth, 2008). Este material es utilizado para el cultivo de plantas en un contenedor, esto es, un recipiente de altura limitada, que puede tener dimensiones variables, cuya base se encuentra a presión atmosférica, aislado por la base y con drenaje libre (Burés, 1997).

Los sustratos se colocan en contenedores o recipientes de tamaño limitado con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas. La función principal de un sustrato es soportar los órganos aéreos de las plantas. Un sustrato es considerado como un medio en donde crecen las plantas o desarrollan su sistema radical, contiene agua y nutrimentos que las plantas necesitan para su desarrollo (Pastor-Sáez, 1999).

3.1.1 Tipos de sustrato

Si se considera los materiales que constituyen a los sustratos, éstos pueden ser clasificados como sustratos monocomponentes o multicomponentes. Dentro de los sustratos monocomponentes, es posible diferenciar entre sustratos orgánicos, minerales y artificiales. Dentro de los sustratos multicomponentes se encuentran los sustratos hortícolas tradicionales producidos a partir de hojas, césped, compostas y vermicompostas, turbas y suelo estándar (Słowińska-Jurkiewicz y Jaroszuk-Sierocińska, 2011).

Los materiales sintéticos incluyen sustratos como la resina fenólica (PR, por sus siglas en inglés), espuma de poliuretano (PUF, por sus siglas en inglés), y resina aminoplástica (AR, por sus siglas en inglés). PR ha sido utilizado en el crecimiento de anturios mientras que el PUF ha sido usado para el crecimiento de orquídeas (Wever, 2002). Por otra parte, entre los materiales naturales orgánicos se encuentran la turba, fibra de coco, bagazo de caña de azúcar, entre otros. Respecto a los materiales procesados (inorgánicos) se encuentran la lana de roca, perlita, vermiculita, arcilla expandida y zeolita (Papadopoulos *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista ecológico, es más ventajoso el uso de sustratos orgánicos, en cuyo caso no es necesario establecer desagües. Además estos sustratos son más fácilmente biodegradados y se pueden esparcir sobre el terreno al terminar el ciclo del cultivo. En este sentido, varios estudios han sido conducidos investigando el uso de sustratos orgánicos en los sistemas hortícolas intensivos (Kleiber *et al.*, 2012).

Se considera que en México hay una amplia gama de materiales que cumple con los requisitos para ser utilizados como sustratos en la horticultura, que son considerados materiales de desecho provenientes de diferentes actividades como explotaciones forestales, la minería, la industria y la actividad agropecuaria. Entre los principales subproductos de las actividades agropecuarias usados como sustratos en nuestro país podemos encontrar residuos como bagazo y cachaza de la caña, bagazo de agave, corteza de árboles, cascarilla de arroz, cascarilla de café, paja de cereales, fibra y polvo de coco (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

[Carrijo et al. \(2002\)](#) clasifica al tezontle, la piedra pómez, la arena y la grava como materiales inorgánicos naturales, en tanto que perlita, vermiculita y lana de roca son considerados minerales transformados.

Desde el punto de vista de su reactividad química, los sustratos son considerados activos (por ejemplo la turba) o semi-inertes (por ejemplo la lana de roca y la arena). La diferencia entre estos dos grupos es cuantitativa, más que cualitativa ([Papadopoulos et al., 2008](#)).

Por lo anterior, para la elección de un sustrato es importante caracterizar las propiedades físicas y químicas del material antes de ser usado, ya que estos factores son importantes para determinar el manejo posterior durante las etapas fenológicas de los cultivos ([Abad et al., 1993](#); [Cruz-Crespo et al., 2010](#)).

3.1.2 Características deseables en un sustrato

El sustrato óptimo es diferente para cada especie. Una buena elección de éste ayuda a obtener plántulas vigorosas y de mayor calidad, lo que permite el establecimiento uniforme y rápido de la plántula en campo o invernadero y en consecuencia reducir el ciclo productivo ([Paulus y Paulus, 2007](#); [Magdaleno-Villar et al., 2006](#)). Además del conocimiento de las propiedades físicas y químicas del sustrato, el éxito de su uso depende de diversos factores como el lugar donde se estable la producción, el tipo de planta que se cultiva y las condiciones climáticas ([Arcos et al., 2011](#)).

Las propiedades físicas de los sustratos se consideran las más importantes para la producción de plántulas y hortalizas, dado que una vez colocado el sustrato en un

contenedor o bolsas es difícil que éstas se modifiquen. Asimismo, las propiedades físicas de los sustratos especialmente las relacionadas con la disponibilidad de agua-aire para las raíces de las plantas son las más importantes dentro del estudio de estos materiales usados en la producción de cultivos en contenedores ([Vence, 2008](#)).

Contrario a las propiedad físicas, las propiedades químicas pueden ser alteradas o modificadas después del establecimiento; por ejemplo el valor del pH, niveles nutrimentales, entre otros ([Pastor-Sáez, 1999](#); [Vence, 2008](#)).

3.1.3 Sustratos en la producción de plántulas de pimiento morrón

El uso de un sustrato adecuado ocasiona una germinación rápida, un alto porcentaje de emergencia y producción de plántulas de buena calidad, características que se reflejan en el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo ([Andrade *et al.*, 2008](#); [Ortega-Martínez *et al.*, 2010](#)).

Por ejemplo, durante la producción de plántulas de chile poblano es de suma importancia considerar la fertilización y los requerimientos nutricionales ([García *et al.*, 2011](#); [Espíndola *et al.*, 2007](#)).

Mientras que, [De Araújo *et al.* \(2009\)](#) evaluaron combinaciones de sustratos orgánicos para la producción de plántula de pimiento morrón. La combinación en la que obtuvieron resultados sobresalientes incluyó una mezcla de composta, vermicomposta y cascarilla de arroz carbonizada, en una proporción 1:1:1 (v/v), respectivamente; no obstante, los resultados obtenidos con el sustrato comercial Plantmax® fueron mejores que con esta mezcla de sustratos orgánicos probada.

Por otro lado, [Manenoi et al. \(2009\)](#) evaluaron sustratos para la producción de plántulas de pimiento morrón a nivel semillero, formulados a partir de materiales orgánicos disponibles en la región del noreste de Tailandia tales como paja de arroz y malezas acuáticas invasoras. En esta investigación se concluyó que la mezcla 2:1 de sustratos orgánicos y sustratos orgánicos comerciales ocasionaron un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas de pimiento, en comparación con el empleo de sustratos orgánicos comerciales y sustratos inorgánicos comerciales.

3.2 Sustratos derivados de subproductos agrícolas

3.2.1 Bagazo de la caña

El aumento en la producción de caña de azúcar y el desarrollo industrial ha provocado un aumento en la obtención de residuos durante el procesamiento de este cultivo, generando graves problemas de contaminación en el ambiente. Dentro de las estrategias para reducir estos impactos negativos en el entorno, el bagazo de caña se ha comenzado a utilizar como sustrato para la producción agrícola. Adicionalmente, este material puede ser utilizado para mejorar las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo, lo que en consecuencia impacta la producción de los cultivos ([Brito et al., 2007](#); [Cabecinha et al., 2010](#)).

El bagazo de la caña es el residuo del tallo o cuerpo de la caña de azúcar que queda después de la molienda ([Basanta et al., 2007](#)). Es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que se obtiene como

subproducto o residuos después de la extracción del jugo, que representa entre 25 a 40% del total de la materia procesada ([Pernalet et al., 2008](#)).

Estructuralmente, las partes que componen el bagazo de caña tienen una longitud promedio de 2.5 mm; la granulometría depende principalmente del proceso de la molienda y de la variedad de la caña de azúcar. El material recién molido contiene aproximadamente 45 a 52% de agua (retenida por el material), sólidos solubles 6 a 8%, y cerca de un 45% de fibras (fracción orgánica insoluble en agua) ([Roca et al., 2006](#)).

[Brito et al. \(2007\)](#) evaluaron residuos de la caña de azúcar como enmienda orgánica en el suelo y como sustratos en la producción de pimiento verde, en mezclas con suelo en diferentes proporciones (0, 25, 50, 75 y 100%). El bagazo de la caña de azúcar proporciona características deseables al incrementar la materia orgánica y el nivel de fertilidad en los suelos pobres, y origina un mayor desarrollo del sistema radical, posiblemente por los espacios porosos y mejor aireación en la rizosfera.

3.2.2 Cachaza

Por lo general la cachaza representa un tipo de residuo de la caña de azúcar que no se incorpora en los procesos de producción agrícola. La cachaza proviene de la filtración y lavado de los lodos sedimentados durante el proceso de clarificación de los jugos de la caña que incluyen materias terrosas, impurezas inorgánicas, ceras y raíces, entre otros, y es desechada en la mayoría de los ingenios del país ([Berrospe et al., 2012](#); [Salgado et al., 2001](#)). Por cada tonelada de materia prima procesada se obtiene alrededor de 30 a 50 kg de cachaza.

Generalmente la cachaza es un residuo agrícola esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, con alta capacidad de retener grandes cantidades de agua. Es el principal desechos de la industria de la caña azucarera (Zérega, 1993). La cachaza se obtiene durante la clarificación del jugo de la caña; se recoge a la salida de los filtros al vacío, y representa aproximadamente un 25 % de materia seca (Basanta *et al.*, 2007).

Berrospe *et al.* (2012) recomiendan el uso de la cachaza para la producción de plántulas, pues contiene algunas propiedades físicas y químicas propicias para el crecimiento y desarrollo vegetal, además de tener bajo costo.

La cachaza generalmente es rica en materia orgánica, por lo que presenta potencial como acondicionador de suelos, ya que aporta cantidades altas de humus necesarias para mantener la fertilidad de suelos en zonas tropicales y subtropicales (Mohee y Panray, 1999). Adicionalmente, es rica en elementos minerales tales como nitrógeno, calcio, fósforo magnesio y zinc, aunque pobre en potasio (Zérega, 1993). Su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo, aumenta temporalmente la capacidad de intercambio catiónico, e incrementa la capacidad retención de humedad durante su descomposición (Zérega, 1993; Berrocal, 1987).

Las principales limitaciones de la cachaza para su uso agronómico son el alto contenido de humedad (entre 75 y 80%) que presenta en estado fresco, lo cual, encarece los costos de transporte y su alta relación carbono/nitrógeno que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos cuando es incorporado al momento de la siembra (Zérega, 1993).

Con el objetivo de fomentar el uso de residuos agrícolas y disminuir el uso de turba importada, [Berrospe et al. \(2012\)](#) evaluaron seis sustratos basados en cachaza que fueron sometidos a procesos de estabilización biológica (vermicompostaje), ya sea solos o mezclados con estiércol de bovino, en la producción de plántulas de tomate. Entre las conclusiones obtenidas se encuentran que el secado de la cachaza originó un sustrato estable con óptima capacidad de aireación, de agua disponible y de nutrimentos, óptimo para la producción de plántulas de tomate.

[Fernández-Bravo et al. \(2006\)](#) evaluaron sustratos para la germinación de semillas de tomate obteniendo mayor respuesta y calidad de plántulas en el sustrato constituido por composta de cachaza y aserrín de coco en proporción de 2:1. Los resultados obtenidos con esta mezcla fueron prometedores, siendo una buena alternativa para sustituir a la turba, cuya características físicas y químicas resultan favorables para el crecimiento vegetal.

[Forero et al. \(2010\)](#) evaluaron el efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz en condiciones de campo. La mayor producción se obtuvo con la aplicación de 7.5 ton ha⁻¹ de cachaza; en tanto que el mayor diámetro de tallo se registró con una dosis de 5.8 t ha⁻¹ de cachaza fresca; la mayor cantidad de materia fresca, se tuvo con la dosis de 12.5 t ha⁻¹. La dosis de 8 t ha⁻¹ incrementó el número de granos por mazorca. De manera general, se concluyó que la aplicación de la enmienda orgánica ayudó a aumentar la producción del cultivo de maíz y ésta puede suplir, en este caso, la fertilización química.

3.2.3 Cascarilla de café

La cascarilla de café es el principal subproducto generado durante el proceso de secado al sol del café cereza, para la obtención del café en granos (Fan *et al.*, 2005). Es el resultado de la remoción del exocarpo, mesocarpo y endocarpo del café cereza para la obtención de los granos de café (Mazzafera, 2002).

Mora (1999) afirma que la cascarilla de café es un material que tiene baja capacidad de retención de humedad, resulta bueno para oxigenar sustrato cuando se realizan mezclas, pero tiene una vida útil muy corta, ya que se descompone en corto tiempo.

La cascarilla de café ha sido ampliamente evaluada en la producción de hongos comestibles usando fermentación con y sin suplementación de nutrimentos. Leifa *et al.* (2001) concluyeron que la cascarilla de café es un sustrato viable para el cultivo de los hongos comestibles *Flammulina velutipes* en estado sólido (SSC).

El residuo de café constituye uno de los materiales de desecho de mayor importancia en la agricultura, que se genera en un 80% durante el despulpado de café maduro. Su acumulación en el entorno ocasiona graves problemas de contaminación de suelos y mantos freáticos (Pierre *et al.*, 2009). Sin embargo, este subproducto presenta características apropiadas para ser composteado, ya que contiene altos niveles de azúcares, una buena relación carbono: nitrógeno y presenta partículas de tamaño adecuado para ser utilizado como sustrato agrícola. Así mismo, presenta una buena fuente de humus y materia orgánica, por lo que representa una alternativa ambiental y económicamente viable como material procesado en la producción agrícola.

Además de su uso como abono orgánico una vez composteado (Sotolongo *et al.*, 2000), el sustrato derivado de la pulpa de café puede también ser empleado como combustible (Rodríguez y Zambrano, 2010), aprovechar la broza y el pergamino como materiales celulósicos (Moya *et al.*, 1990), o incorporar la pulpa en la dieta alimentaria animal (Noriega *et al.*, 2008).

Briceño *et al.* (2009) evaluó sustratos a base de café, estiércol, coco y arena para la germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), y reportó niveles de germinación de un 75%, con altura promedio de plántulas de 2.8 cm.

3.3 Parámetros de la calidad de plántula de pimiento morrón

3.3.1 Concepto de calidad

La calidad de la plántula se define como el producto adecuado al objetivo para el cual será utilizado. La calidad entonces está relacionada con la capacidad de la plántula para alcanzar suficientes expectativas de supervivencia y de crecimiento posterior al trasplante, además de alcanzar el máximo rendimiento en campo (Noordegraaf, 1994).

3.3.2 Indicadores de calidad de plántulas

Los principales factores que determinan indicadores de calidad de las plántulas agrícolas y su recuperación después del trasplante al campo y también influye durante la etapa de la producción de plántulas a nivel almacigo, son: fertilización, riego, control de plagas y enfermedades (Aloni *et al.*, 1991; Noordegraaf, 1994; Guzmán y Sánchez, 2003). Sin embargo, la velocidad con que emerge las plántulas su uniformidad y su tasa

de crecimiento inicial son determinantes para la obtención de plántulas de calidad y en tiempo razonables (De Grazia *et al.*, 2004), y todos ellos determinan el rendimiento de cada especie hortícola (Nicola y Basoccu, 1994; Guzmán y Sánchez, 2003).

El contenido nutricional en el tejido vegetal es uno de los factores más importantes que modifican las características morfológicas y fisiológicas de la plántula, y determina en gran medida el crecimiento, precocidad, rendimiento, tamaño y número de frutos (Nicola y Basoccu, 1994).

Actividad fotosintética, altura de la planta, acumulación de materia seca y peso seco de raíz, son algunos de los indicadores que determinan la calidad de plántulas en invernadero (Herrera *et al.*, 2008; Rosca, 2009). Las plántulas de mayor calidad que crezcan en los sustratos deberán desarrollar un buen sistema radical que fomente el anclaje de la plántula, una altura de 10 cm y con un mínimo de cuatro hojas bien desarrolladas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del experimento

Esta investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en el periodo comprendido de junio a diciembre del 2012 en el Área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México. El invernadero utilizado es de tipo túnel con estructuras metálicas y cubiertas plásticas, sin control de temperatura ni humedad relativa, con mallas anti-áfidos en las paredes laterales.

4.2 Material vegetal

Para este estudio se utilizaron semillas de cinco variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) de tipo blocky con diferentes colores de frutos a la madurez fisiológica. Los genotipos fueron: Sven F1 (V1), Sympathy F1 (V2), Zidenka F1 (V3), California Yolo Wonder (V4) y criollo California (V5), producidos y comercializados por diferentes empresas semilleras. Las características de los genotipos son descritos en el **Cuadro 1.**

La planta de pimiento es herbácea y anual, con tallos erguidos y de crecimiento limitado, con altura y forma de desarrollo muy variables. Presenta un crecimiento simpódico y en cada bifurcación se producen flores, generalmente solitarias ([Marcelis et al., 2004](#); [Cruz et al., 2009](#)). El sistema radical es voluminoso y profundo; está formado por raíz principal pivotante, y en suelos de textura pesadas tiene escaso desarrollo. Dispone de numerosas raíces adventicias que horizontalmente puede alcanzar de 0.5 a 1 m de longitud ([Infoagro, 1997](#)). Presenta hojas simples, formadas por el peciolo largo,

que une a la hoja con el tallo y la lámina foliar o limbo. El fruto es una baya hueca con la superficie lisa y brillantes, de tamaño y formas diferentes con colores característicos: amarillo, anaranjado, verde o roja, según la variedad (Nuez *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Características de las variedades de pimiento morrón evaluadas en diferentes combinaciones de sustratos derivados de residuos agrícolas.

Variedad	Forma del fruto/lóbulos por fruto	Color del fruto/maduración	Tamaño del fruto	Referencia
Sven F1	Blocky/4	Verde oscuro/amarillo dorado	Grande	Rijk Zwaan, 2013
Sympathy F1	Blocky/4	Naranja intenso/brillante	Grande/extra grande	Rijk Zwaan, 2013b
Zidenka	Blocky/4	Rojo	Grande/extra grande	Rijk Zwaan, 2013c
California Yolo	Blocky/3 a 4	Verde intenso/rojo	4 a 4.5 pulgadas	Smart Gardener, 2013
Wonder Criollo	Blocky/4	Verde oscuro brillante y rojo	4 pulgadas	Cosechando Natural, 2009

4.3 Sustratos

Los sustratos evaluados estuvieron constituidos por tezontle rojo y residuos agrícolas. El tezontle se tamizó con una cribadora de 1.5 x 1 m, para la obtención de partículas de 5 mm de diámetro. Posteriormente se realizaron las mezclas de tezontle con residuos agrícolas en forma manual, hasta lograr homogeneidad del material, en una proporción 40/60 (v/v) de tezontle y del residuo agrícola correspondiente, en forma respectiva. Los sustratos evaluados fueron:

1. **TZBZ:** Tezontle (TZ) más bagazo (BZ)
2. **TZCC:** Tezontle (TZ) más cascarilla de café (CC)
3. **TZCZ:** Tezontle (TZ) más cachaza (CZ)
4. **TZ:** Tezontle (TZ)

Los sustratos se colocaron en charolas de poliestireno con 200 cavidades y en éstas se sembraron las semillas de las variedades de pimiento evaluadas a una profundidad de 1 cm. Se aplicó riego por saturación antes y después de la siembra, utilizando agua destilada durante la fase experimental. Los sustratos bajo estudio fueron:

a). Bagazo de la caña. El material fue obtenido de la región productora de caña de azúcar en las cercanías del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, en Córdoba, Veracruz, México.

b). Cachaza de la caña. Igualmente, el material fue obtenido de la región productora de caña de azúcar en las cercanías del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, en Córdoba, Veracruz, México.

c). Cascarilla de café. El material fue obtenido de la región productora de café de Coatepec y Córdoba, Veracruz, México.

4.4 Proceso de germinación

La pre-germinación de la semilla de pimiento se realizó en una cámara germinadora automática, marca Shel Lab, modelo LI15. En esta cámara fue posible establecer distintos regímenes de temperatura y fotoperiodo, manteniendo con luz y oscuridad durante 12 h a una temperatura de 25 °C, durante 15 d, con riego diario, para la germinación se siguieron las normas establecidas por la Asociación Internacional de Análisis de semillas (ISTA, 1996). Cuando inició la germinación las charolas se trasladaron al invernadero para evitar la etiolación de la plántula.

4.5 Tratamientos probados y diseño experimental

Se realizó un diseño de tratamientos factorial (4 X 5); donde los factores de estudio fueron el sustrato y la variedad de pimiento. Los niveles del factor sustrato fueron: tezontle, cachaza, bagazo y cascarilla de café; mientras que los niveles del factor variedad fueron: Sven F1, Sympathy F1, Zidenka F1, California Yolo Wonder y Criollo California. De la combinación de los niveles de los factores resultaron 20 tratamientos, mismos que fueron distribuidos en invernadero en un diseño en parcelas divididas donde la parcela grande fue el sustrato y la parcela chica fue la variedad.

Las unidades experimentales estuvieron constituidas por una plántula; teniéndose 32 repeticiones por tratamiento.

4.6 Variables evaluadas

4.6.1 Caracterización física de los sustratos

4.6.1.1 Densidad aparente (D_a)

La densidad aparente se determinó por el método de la probeta. Previamente y para lograr homogenizar el peso del sustrato, una muestra de éste se colocó en una estufa a una temperatura de 70 °C hasta peso constante. Una vez seco el sustrato se pesaron 50 g y se agregó en el recipiente, los espacios entre las partículas se eliminaron por medio de golpeteo suave a la probeta sobre la mesa para lograr el acomodo uniforme del material, posteriormente se determinó el volumen ocupado en la probeta. La densidad aparente se expresó en g cm^{-3} .

4.6.1.2 Densidad real (D_r)

Para determinar la densidad real de las partículas se utilizó el método del picnómetro de líquidos propuesto por [Terés et al. \(1993\)](#). Se pesó un matraz volumétrico de 100 mL (P_m), se agregó una cantidad de sustrato secado a una temperatura 70 °C hasta peso constante y nuevamente se pesó el matraz con el sustrato (P_s). Se aforó con agua destilada y hervida aproximadamente a la mitad del volumen del matraz, se agitó suavemente para evitar que las partículas quedaran adheridas en las paredes del matraz. Se dejó reposar durante 24 h. Posteriormente, para expulsar el aire, se hirvió lentamente durante unos minutos, se enfrió y luego se enrasó con agua destilada previamente hervida, se registró nuevamente el peso (P_{sa}); parte del líquido derramado

se seca perfectamente. Finalmente el matraz se aforó con agua destilada hervida y se pesó (P_a). Para calcular la densidad real se utilizó de la siguiente fórmula.

$$D_r = D_{H_2O} (P_s - P_m) / (P_s - P_m) - (P_{sa} - P_a)$$

Donde D_{H_2O} = densidad de agua a 20 °C

El espacio poroso total (EPT) se obtuvo mediante la fórmula:

$$EPT = 1 - (D_a / D_r)$$

Donde D_a = densidad aparente y D_r = Densidad real

4.6.1.3 Retención de humedad

Para determinar la curva de retención de humedad de los sustratos evaluados se utilizó el método de la columna colgante propuesto por [De Boodt et al. \(1974\)](#). Las columnas constan de embudos de cerámica con base porosa ensamblados con mangueras de polietileno de $\frac{3}{4}$ de pulgada y con una bureta graduada de 50 mL en el otro extremo. Se colocaron seis columnas en un soporte metálico y se colocaron en pares a una altura de 1, 2 y 3 m, para aplicar 10, 50 y 100 cm de succión. El nivel 0 cm se obtuvo directamente del sustrato en estado de saturación. El estado de saturación (0 cm) se alcanzó aplicando pequeños volúmenes de agua al sustrato, hasta que se observa el espejo de agua en la superficie del material. En la determinación de los tres niveles de succión en la columna, primeramente se hizo coincidir el menisco de agua en la manguera con la parte media del sustrato, y posteriormente se hicieron marcas sobre la manguera conforme el menisco de agua ascendía.

4.6.2 Caracterización química de los sustratos

4.6.2.1 pH y conductividad eléctrica (CE)

El pH y la CE se determinaron en el extracto de pasta de saturación, utilizando agua destilada como extractante y agitando hasta que se alcanza un punto de humedad característico en la superficie del sustrato. La muestra saturada se dejó reposar durante 24 h. Posteriormente, la pasta se colocó en un embudo Büchner de porcelana, donde se filtró el extracto mediante succión usando una bomba de vacío. Las lecturas de pH se determinaron con un potenciómetro (OAKTON® pH/mV/°C meter, Series No: 43291). La CE fue medida con un conductímetro de mesa (Hanna, Mod. HI 4312).

4.6.2.2 Iones solubles

En el extracto de la pasta de saturación (ver apartado 4.6.2.1.) se determinaron los iones en solución tales como P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn B, Mo, mediante el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma acoplado ICP-VARIAN 725-ES.

4.6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La determinación de la CIC en el sustrato con valor de pH menor a 7 se realizó por el método de acetato de amonio (NH_4OAc 1 N pH 7.0) modificado. En los sustrato con valores de pH superiores a 7 se determinó la CIC con el método de acetato de sodio (NaOAc 1N pH 8.2). En los extractos resultantes se determinaron asimismo Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ intercambiables.

4.6.3 Porcentaje de germinación

La germinación en cada unidad experimental se evaluó contabilizando de manera directa el número de plántulas emergidas, estimándose el porcentaje de germinación en la última fecha de evaluación, 38 días después de la siembra.

4.6.4 Altura de plántula

A los 62 días después de la siembra (dds), se determinó la altura de las plántulas midiendo la longitud desde el cuello de la raíz hasta el primordio foliar de las plántulas con apoyo de cinta métrica.

4.6.5 Diámetro del tallo

El diámetro del tallo se registró con un vernier manual a una altura de 5 mm a partir de la base del cuello de la raíz a los 62 dds.

4.6.6 Número de hojas

Se tomaron datos sobre el número de hojas a los 62 dds contando generalmente hojas expandidas en su totalidad al momento de la cosecha.

4.6.7 Longitud de la raíz

La longitud de la raíz se evaluó midiendo desde el cuello hasta las raíces más largas con la ayuda de regla graduada, a los 62 dds.

4.6.8 Peso seco de la raíz y parte aérea

Se determinó el peso seco, separando vástago-raíz al momento de la cosecha y se depositaron en bolsas de papel en forma separada, para secarse en una estufa marca (RIOSSA, HCF-125D) con circulación de aire forzada a una temperatura de 70 °C durante 72 h y finalmente con una balanza analítica marca (ADVENTURE™ PRO OHAUS) se evaluó el peso seco de la raíz y el vástago de cada tratamiento y se expresó en mg.

4.6.9 Concentración nutrimental en vástago

Debido a que no se tenía material vegetal suficiente en todos los tratamientos, las concentraciones nutrimentales se determinaron solo en vástagos de tres variedades (Sven F1, Sympathy y Zidenka F1) germinadas en los sustratos con bagazo (TZBZ), cachaza (TZCZ) y el consistente solo en tezontle (TZ).

La concentración de N se determinó empleando el método Semimicro-Kjeldahl ([Bremner, 1965](#)) utilizando ácido sulfúrico-salicílico para su digestión. Así también, se determinaron las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y B mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico ([Alcántar y Sandoval, 1999](#)). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado se realizó en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-VARIAN 725-ES).

4.6.10. Acumulación nutrimental en vástago

La acumulación nutrimental se estimó considerando las concentraciones de cada uno de los nutrimentos y el peso de biomasa seca de vástago.

4.7 Análisis estadísticos

Con las variables obtenidas se realizaron análisis de varianza de acuerdo a los diseños de tratamientos y experimental empleados, utilizando el software SAS Ver. 9.3 ([SAS, 2011](#)).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización física de los sustratos

Entre los parámetros físicos evaluados en los sustratos en estudio se encuentran, el espacio poroso total (EPT) y sus componentes (porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad), así como los valores de densidades real y aparente (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Espacio poroso total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, densidad real y densidad aparente de los sustratos en estudio.

Sustrato	Porcentaje			Densidad real	Densidad aparente
	Espacio poroso total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de humedad	g cm ⁻³	g cm ⁻³
TZBZ	68	10	58	1.99	0.64
TZCC	72	21	51	1.79	0.48
TZCZ	71	8	63	2.11	0.61
TZ	57	41	16	2.20	0.98

TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ: Tezontle + cachaza; TZCC: Tezontle + cascarilla de café; TZ: Tezontle.

El menor EPT fue registrado en el tezontle (57%); mientras que el mayor en el sustrato constituido por tezontle y cascarilla de café (72%). [Latshaw et al. \(2009\)](#) reportan 50% como valor de referencia del EPT; por otra parte, [De Boodt y Verdonck \(1972\)](#) indican que el EPT óptimo para cultivos hortícolas es superior al 85%. Independientemente del valor de referencia del EPT que sea considerado, supone mayor importancia analizar

los porcentajes de porosidad de aireación y de porosidad de retención de humedad; en virtud de que si predomina la porosidad de aireación, el sustrato es considerado “ligero”, pero la planta puede estar sometida a estrés hídrico; por el contrario, si quien predomina es la porosidad de retención de humedad, el sustrato se torna “pesado” y es susceptible de anegarse (Latshaw *et al.*, 2009). En este sentido, es de destacarse que la porosidad de retención de humedad es significativamente menor en el tezontle; lo cual implica necesariamente el incremento en la frecuencia de riegos (Cuadro 2); como lo indica Trejo-Téllez *et al.* (2013) al emplear tezontle como sustrato en el cultivo de tulipán.

Los intervalos en los valores de densidad real y densidad aparente, considerados óptimos son 0.5 a 0.75 y de 1.45 a 2.65 g cm⁻³, respectivamente (Abad *et al.*, 1993; Pastor-Sáez, 1999; Ansorena, 1994). Así, el tezontle tiene una densidad aparente superior a la de referencia; el resto de los sustratos, se consideran dentro del intervalo. Por el contrario, los cuatro sustratos en estudio tienen una densidad real considerada como óptima (Cuadro 2).

De Boodt *et al.* (1974) determinaron la curva de liberación de agua para sustratos orgánicos, aplicando intervalos de succión de 0, 10, 50 y 100 cm de tensión de columna de agua, y establecieron los principales parámetros de las propiedades físicas para clasificar el agua contenida en éstos. En consecuencia, en esta investigación se realizaron las curvas de liberación de agua en cada uno de los sustratos evaluados (Figura 1).

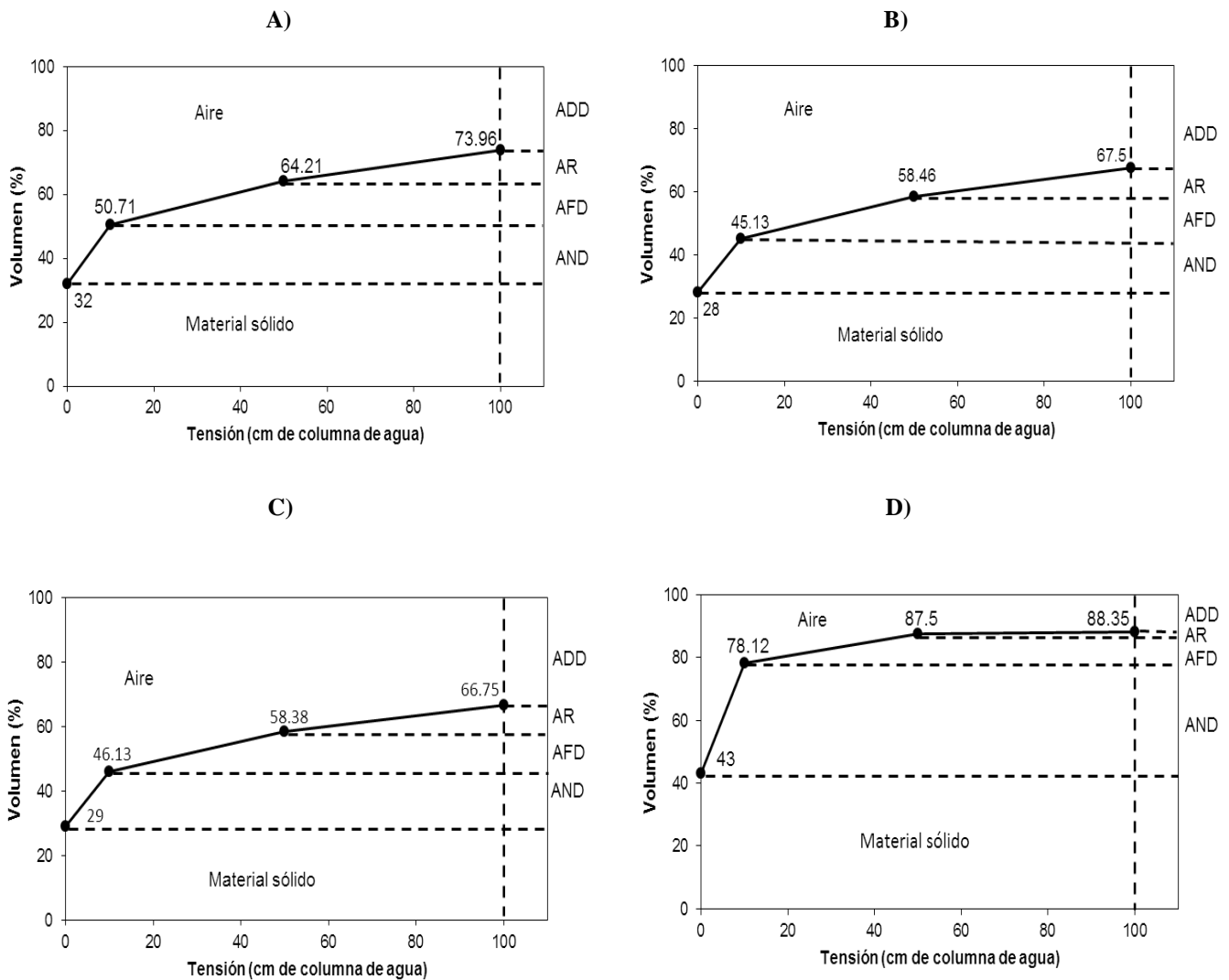


Figura 1. Curva de liberación de agua de los sustratos evaluados en esta investigación. A) Tezontle y bagazo de caña (TZBZ); B) Tezontle y cascarilla de café (TZCC); C) Tezontle y cachaza (TZBZ). A, B y C en una proporción 40:60 (v:v), respectivamente. D) Tezontle (TZ). ADD=agua difícilmente disponible; AR=agua de reserva; AFD=agua fácilmente disponible.

El EPT tuvo valores de 68, 72, 71 y 57% en los sustratos TZBZ, TZCC, TZCZ y TZ, respectivamente, como puede observarse en la **Figura 1**. El EPT es el resultado de la suma de los volúmenes de la fase acuosa y gaseosa en el sustrato; éste se encuentra

relacionado con la forma, tamaño y arreglo de las partículas (Raviv *et al.*, 2002). Mazarura (2013) indica que para mantener el nivel de oxígeno arriba del 12%, valor requerido para que el sistema radical tenga adecuados desarrollo y producción de nuevas raíces, un sustrato debe tener una EPT entre 50 y 80%. Considerando esta referencia, los sustratos evaluados tienen valores óptimos de espacio poroso total; no obstante, otros autores más conservadores indican que el valor del EPT en un sustrato debe ser superior al 85% (Abad *et al.*, 1993; Ansorena, 1994).

De la **Figura 1**, se desprenden parámetros como agua no disponible (AND), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (AFD); mismos que son presentados en el **Cuadro 3**. Valores similares a los aquí obtenidos en los parámetros AFD (2.3%), AR (1.1%) y de ADD (8%), fueron reportados para tezontle con partículas de 5 mm de diámetro (Trejo-Téllez *et al.*, 2013).

El parámetro agua fácilmente disponible (AFD) se refiere a la cantidad de agua que se encuentra entre el punto de capacidad de campo y un punto denominado de relleno, para un crecimiento sin restricciones; es decir, en este intervalo de humedad, las plantas no sufren por déficit o exceso de agua (NSW, 2004). De Boodt y Verdonck (1972) indican que el intervalo óptimo de AFD en sustratos oscila entre 20 y 30%; por tanto los sustratos evaluados en esta investigación poseen valores no adecuados de AFD (**Cuadro 3**).

Los valores de AFD en los sustratos analizados se relacionan de manera negativa con los porcentajes de agua no disponible (AND); es decir, a medida que el agua fácilmente disponible disminuyó, se incrementó el agua no disponible; siendo esta relación más evidente en el tezontle, que tuvo los valores más altos de AND (35.12%) (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Parámetros de las curvas de liberación de humedad de cuatro sustratos conteniendo residuos agrícolas.

Sustrato	Agua no disponible	Agua fácilmente disponible	Agua de reserva	Agua difícilmente disponible (ADD)
	(AND)	(AFD)	(AR)	
%				
TZBZ	18.71	13.50	9.75	26.02
TZCC	17.70	13.33	9.04	31.91
TZCZ	17.13	12.25	8.37	33.22
TZ	35.12	9.03	1.20	11.6

TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ: Tezontle + cachaza; TZCC: Tezontle + cascarilla de café; TZ: Tezontle.

Los microporos en un sustrato contienen el agua que no es usada por la planta, en casos de hidratación normal; por tanto, es considerada como agua de reserva (AR) en una situación de estrés hídrico (Gliński *et al.*, 2011); de esta manera, el AR es liberada a tensiones entre 5 y 10 kPa (Vence, 2008). En esta investigación el sustrato con menor valor de AR fue el tezontle (1.2%) en el resto de los sustratos, osciló entre 8.37 y 9.75% (Cuadro 3).

5.2 Caracterización química de los sustratos

Los valores de pH y CE de los sustratos utilizados se presentan en el Cuadro 4. Estas variables son indicadores de la forma y la concentración en que los nutrimentos se encuentran disponibles para las plantas. En particular el pH juega un papel crucial en la disponibilidad de los micronutrimentos, asociándose los altos valores de pH con reducción en la disponibilidad de éstos; así también, un pH alto se asocia con altas

concentraciones de iones alcalinos. Por su parte, el valor de CE es indicativo de la concentración de sales ionizadas en el sustrato; altos valores de CE pueden tener efectos negativos en el crecimiento y metabolismo vegetal (Brito y Mourão, 2012).

Cuadro 4. Valores de pH y la conductividad eléctrica en los sustratos utilizados en la producción de plántulas de pimiento morrón.

Sustrato	pH	CE (dS m ⁻¹)
TZBZ	7.81	0.404
TZCC	6.01	3.163
TZCZ	7.89	1.900
TZ	7.50	0.174

TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ: Tezontle + cachaza; TZCC: Tezontle + cascarilla de café; TZ: Tezontle.

Noguera *et al.* (2003) reportan como valores aceptables de pH y CE en los sustratos los intervalos de 5.2 a 6.3 y de 0.75 a 1.99 dS m⁻¹, respectivamente. Por tanto, con excepción del sustrato constituido por tezontle y cascarilla de café (TZCC), lo cual presupone máxima disponibilidad nutrimental; el resto de los sustratos sobrepasan del rango referido de pH. En el caso particular del pimiento morrón, los valores óptimos de pH oscilan de 6.5 a 7; no obstante, puede desarrollarse en condiciones de acidez con valores de pH de 5.5 (Soler *et al.*, 2002).

En lo que respecta a la CE, solo el sustrato conteniendo cachaza se encuentra dentro del intervalo de referencia; asimismo, es importante destacar el alto valor de CE en el sustrato conteniendo cascarilla de café, dado que se encuentra dentro del intervalo (2 a 4 dS m⁻¹) en el cual, el desarrollo de plantas sensibles a salinidad puede verse restringido (Bunt, 1988).

En un sustrato, también es importante conocer la concentración nutrimental antes de ser utilizado. El **Cuadro 5** presenta las concentraciones nutrimentales determinadas en el extracto de la pasta de saturación de los sustratos. El sustrato conteniendo cascarilla de café (TZCC) tiene las concentraciones más altas de los nutrimentos N, P, K, Fe, Zn, Mn, B; así como también de Na, elemento que no es esencial para plantas superiores, y que en altas concentraciones puede causar toxicidad en éstas (Luan *et al.*, 2009). Por el contrario, el tezontle (TZ) registró menor concentración de nutrimentos en solución, siendo notable la ausencia de Fe, Zn y Mn.

Cuadro 5. Concentración nutrimental en el extracto de la pasta de saturación de los sustratos conteniendo residuos agrícolas.

Sustrato	N	P	K	Ca	Mg
	%	g kg ⁻¹			
TZBZ	0.030	0.019	0.053	0.114	0.067
TZCC	0.094	0.223	1.472	0.053	0.160
TZCZ	0.094	0.026	0.180	0.263	0.198
TZ	0.034	0.002	0.010	0.009	0.009
Sustrato	Fe	Zn	Mn	B	Na
	mg kg ⁻¹				
TZBZ	0.606	0.127	1.179	0.287	67.537
TZCC	3.230	2.012	3.604	1.998	102.892
TZCZ	0.755	0.281	0.814	0.135	25.375
TZ	0.000	0.000	0.000	0.115	9.278

TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ: Tezontle + cachaza; TZCC: Tezontle + cascarilla de café; TZ: Tezontle.

Al contrastar los resultados de concentración aquí obtenidos, con los niveles de referencia para sustratos orgánicos reportados por [Abad *et al.* \(1993\)](#) y presentados en el **Cuadro 6**, es notable que el tezontle es deficiente en N, P, K, Ca, Mg, y de

micronutrientes con excepción del B, Por su parte, el sustrato conteniendo cachaza (TZCZ) tiene valores adecuados tanto de macro como de micronutrientes. El sustrato conteniendo cascarilla de café (TZCC) supera los intervalos de concentración nutrimental de referencia en todos los casos, excepto de la concentración de Ca que es clasificada como deficiente.

Cuadro 6. Niveles óptimos de concentración nutrimental asimilables para el cultivo en sustrato orgánico.

Ion/Elemento	Nivel óptimo
	g kg⁻¹
N-NO ₃ ⁻	0.100-0.199
N-NH ₄ ⁺	0.000-0.020
P	0.0060-0.010
K ⁺	0.150-0.249
Ca ²⁺	>0.200
Mg ²⁺	>0.070
	mg kg⁻¹
Fe	0.300-3.000
Mn	0.020-3.000
Zn	0.300-3.000
Cu	0.001-0.050
B	0.005-0.500

En el **Cuadro 7** se presentan los valores de cationes intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos en estudio. Un valor considerado “suficiente” de CIC es necesario para amortiguar cambios repentinos de pH y en las concentraciones nutrimentales en sustratos de origen orgánico (Argo, 1998). En este sentido, se observa diferencias entre los sustratos; el tezontle el de menor CIC y menor

valor de cada catión intercambiable, seguido del sustrato conteniendo bagazo de caña (TZBZ); por el contrario, el sustrato con mayores valores de estos parámetros es el que contiene cachaza (TZCZ).

Cuadro 7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables en los sustratos en estudio.

Sustrato	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CIC
	cmol _c kg ⁻¹				
TZBZ	0.75	7.73	0.08	1.16	9.72
TZCC	16.82	2.59	0.03	0.47	19.90
TZCZ	3.54	20.20	0.13	2.22	26.08
TZ	0.44	2.41	0.04	0.80	3.69

TZBZ: Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ: Tezontle + cachaza; TZCC: Tezontle + cascarilla de café; TZ: Tezontle.

Por otra parte, normalmente la CIC en suelos se relaciona de manera positiva con los iones en solución, lo cual es más evidente en los casos de Ca y Mg en solución (**Cuadro 5**) en el sustrato TZCZ.

5.3 Germinación

El proceso de producción de plántulas de calidad, incluye diversos aspectos, entre los que se encuentran la germinación de las semillas ([Caldeira et al., 2000](#)), siendo la germinación particularmente importante en la especie *Capsicum annuum* L., al requerirse alto porcentaje de emergencia y uniformidad en el tamaño de las plántulas para el trasplante, objetivos que no siempre son alcanzados dado las diferencias en vigor entre lotes de semillas comerciales ([Demir et al., 2008](#)). Así también, existe

amplias diferencias tanto en tiempos de germinación como en el porcentaje de germinación entre variedades de la especie como se observa en la **Figura 2A**.

El menor porcentaje de germinación se obtuvo en la variedad California (**Figura 2A1**) de manera independiente al sustrato usado, en comparación con el resto de las variedades evaluadas. Así también se observa que la variedad California tuvo una baja germinación, de manera independiente al sustrato utilizado, con valores máximos de 20% en los sustratos conteniendo bagazo de caña (TZBZ) y con tezontle (TZ), en un periodo de 38 y 37 días, respectivamente. Esta variedad obtuvo el menor porcentaje de germinación (10.3%) en el sustrato con cachaza (TZCZ) (**Figura 2A2**).

Por su parte, la variedad Sven F1 registró su menor porcentaje de germinación (76.6%) en el sustrato con cascarilla de café (TZCC) y la germinación de todas las semillas establecidas se tuvo cuando se usó tezontle (TZ) como sustrato, a los 27 días después de la siembra. Porcentajes de germinación de 86.6 y 89.6% se obtuvieron con los sustratos con bagazo de caña (TZBZ) y cachaza (TZCZ), respectivamente (**Figura 2B**).

La variedad Sympathy tuvo un promedio de germinación de 79.98% en un periodo media de 26 días, con la media más alta en las semillas sembradas en tezontle (93.3%), seguida de aquellas establecidas en el sustrato conteniendo cachaza (TZCZ) con un valor del 83.3%, y en el sustrato con bagazo (TZBZ) con 73.3%; por último, la menor germinación (70%) se registró en el sustrato con cascarilla de café (TZCC) (**Figura 2C**).

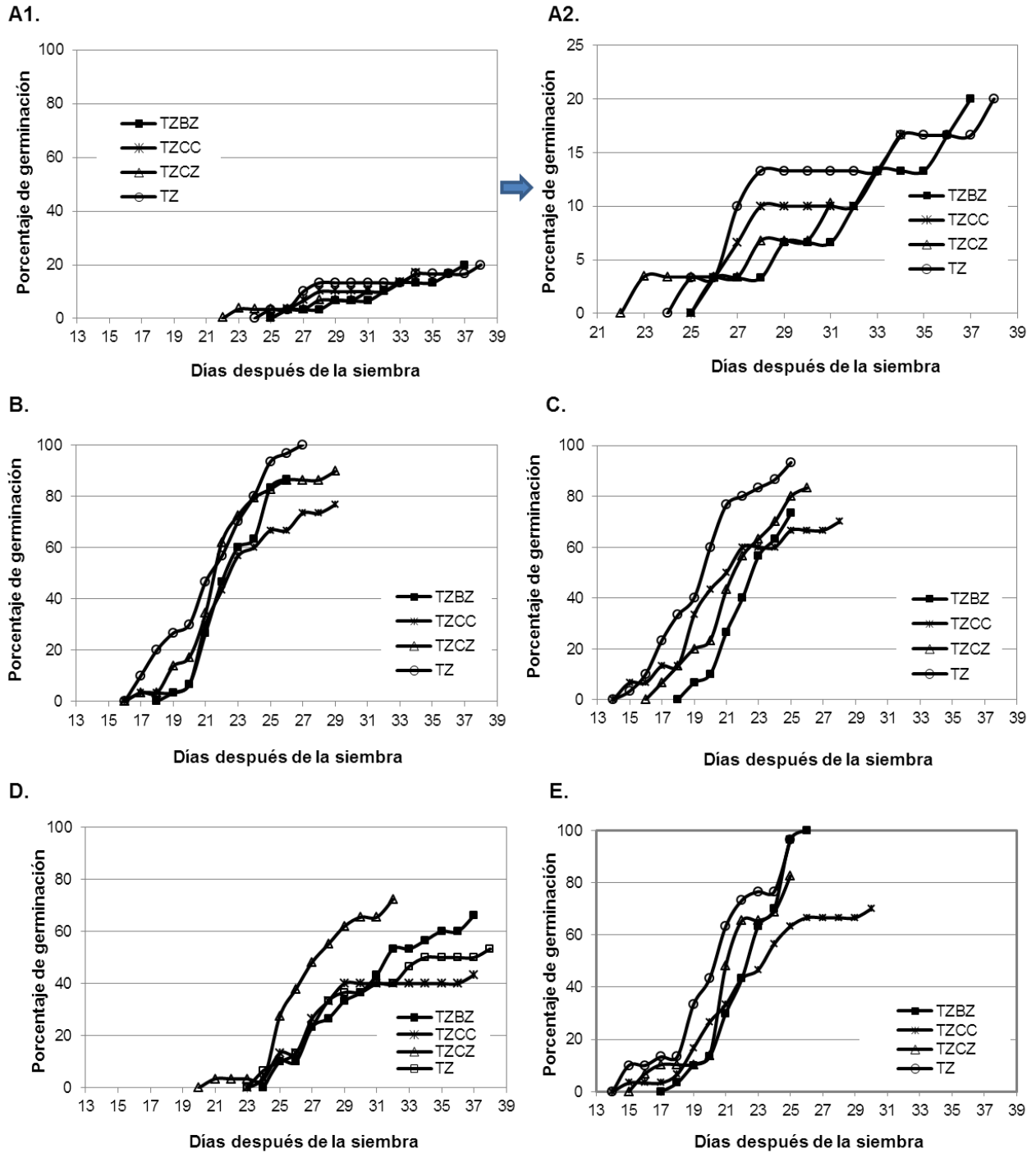


Figura 2. Porcentaje de germinación de cinco variedades de pimiento morrón en diferentes sustratos, evaluado entre los 13 y 39 días después de la siembra. A1 y A2=California con diferentes escalas; B=Sven F1; C=Sympathy; D=Yolo Wonder; E=Zidenka F1.

En lo que respecta a la variedad Yolo Wonder (**Figura 2D**) el porcentaje de germinación en orden decreciente fue en los sustratos con cachaza (TZCZ), bagazo (TZBZ), tezontle (TZ) y cascarilla de café (TZCC) con valores de 72.4, 66.2, 53.33 y 43.3%, respectivamente. En esta variedad es interesante destacar que el máximo de germinación alcanzado en tezontle, fue en un tiempo mayor al resto de los sustratos.

El promedio de germinación de la variedad Zidenka F1 fue de 87.33% en un periodo medio de 26.5 días. De manera sobresaliente, es el mayor porcentaje de germinación registrado en el sustrato con cachaza (TZCZ), seguido del sustrato con bagazo (TZBZ) con porcentajes de 72.4 y 66.2, respectivamente (**Figura 2D**).

Por otra parte, se observaron efectos diferenciales en el porcentaje de germinación entre los sustratos en estudio como se observa en la **Figura 3**; dado que las propiedades físicas y químicas de los sustratos tienen influencia sobre la germinación de la semilla y sobre el desarrollo de las plántulas (*Nascimento et al., 2003*).

De manera independiente de la variedad de pimiento, en el periodo de evaluación (de 13 a 39 días después de la siembra), el menor promedio de germinación (55.3%) se registró en el sustrato conteniendo cascarilla de café (**Figura 3B**), seguido del sustrato conteniendo cachaza con un porcentaje de germinación de 67.66 (**Figura 3C**) y por el sustrato con bagazo (**Figura 3A**) con un promedio porcentual de 69.22. Por el contrario, el mayor porcentaje de germinación (72.65%) fue registrado cuando se utilizó tezontle como sustrato (**Figura 3D**). Estos resultados coinciden con los reportados por *Oland y Starett (2002)* en tomate, quienes indican que se tuvo una menor tasa de germinación en medios orgánicos que en medios convencionales.

Se ha observado, que la germinación y el crecimiento en algunos cultivos están asociados como ya se mencionó previamente, con las propiedades de los sustratos. Dentro de las propiedades químicas, son el pH y la CE los más influyentes. En este sentido, es interesante notar que el sustrato donde se registró la menor germinación (TZCC), fue el único entre los sustratos evaluados con un valor de pH dentro del rango óptimo (5.2 a 6.3) reportado por [Noguera et al. \(2003\)](#) (**Cuadro 4**); y en consecuencia mayor disponibilidad nutrimental en este sustrato (**Cuadro 5**). No obstante, al adecuado valor de pH, este sustrato presenta altos valores de CE (3.16 dS m^{-1} , **Cuadro 4**) y alta concentración de Na soluble (102.89 mg L^{-1}) en el extracto de la pasta saturada (**Cuadro 5**), factores que influyen negativamente la germinación. Asimismo, los tiempos promedio en los que en cada sustrato se alcanzó el máximo porcentaje de germinación fueron variables.

Los máximos promedio de germinación se alcanzaron en menor tiempo en el sustrato conteniendo cachaza (TZCZ) con tiempos promedio de 28.6 días; por el contrario, en el sustrato conteniendo cascarilla de café (TZCC), los máximos de germinación fueron registrados en el mayor tiempo, 32.4 días (**Figura 3**). Resultados coincidentes han sido reportados en otras variedades de *Capsicum annuum* L. como Demre, Cetinel 150 e Ilica 256, ya que incrementos en la concentración de NaCl, reducen de manera gradual el porcentaje de germinación y alargan el tiempo de ésta ([Yilmaz et al., 2004](#)).

Así también, el tezontle (TZ) y el sustrato conteniendo cascarilla de café (TZCC) tienen otras propiedades con valores contrastantes; en el caso de las propiedades físicas es de destacarse el EPT, con valores de 72 y 52%, respectivamente. Si bien, el TZCC

presenta un valor más adecuado de EPT, predomina dentro de éste la porosidad de retención de humedad, lo que ocasiona en la mayoría de los casos acumulaciones excesivas de humedad (Latshaw *et al.*, 2009); existiendo una relación directa entre la porosidad de retención de aire y la germinación (Naasz *et al.*, 2009).

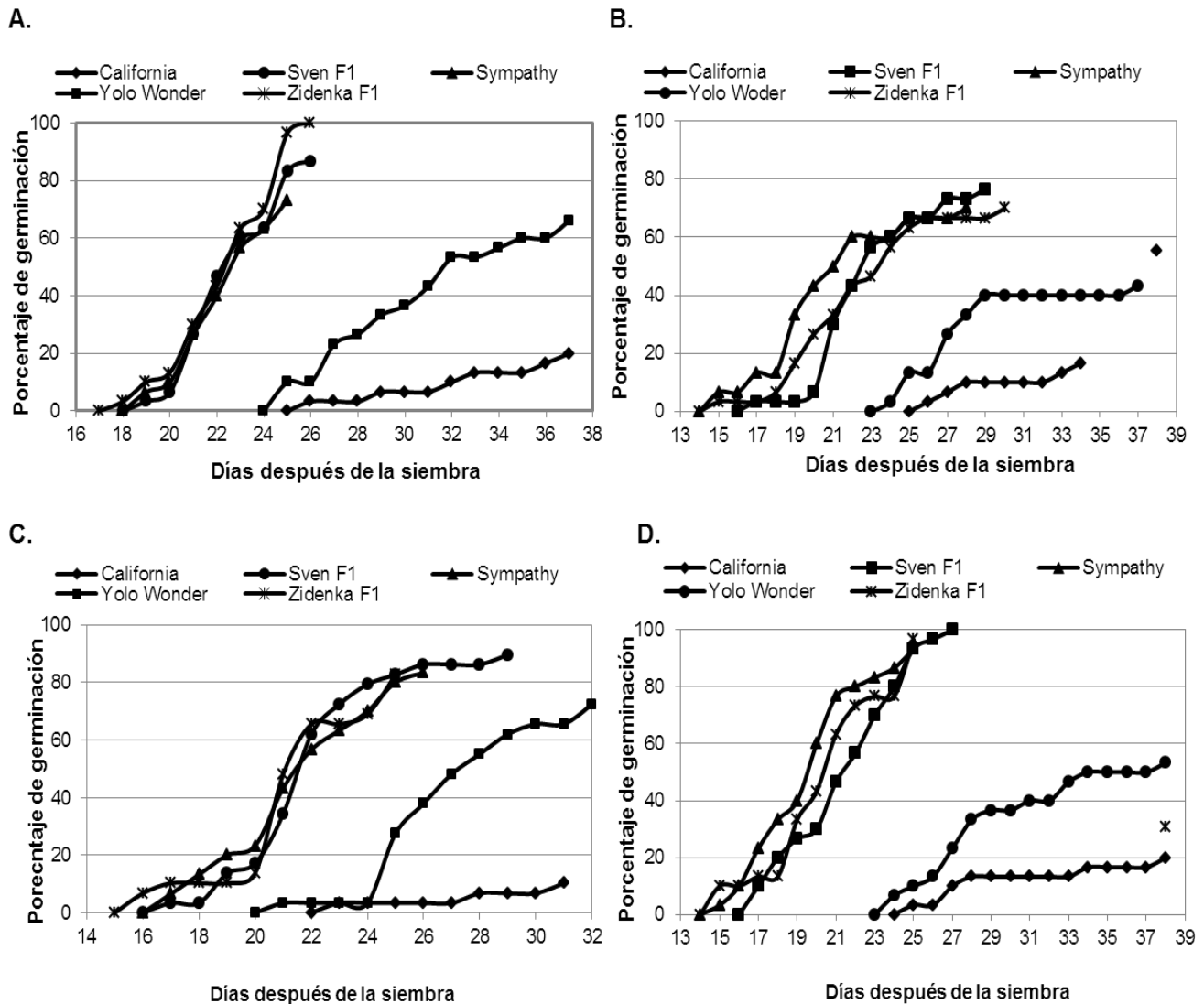


Figura 3. Porcentaje de germinación en función del sustrato utilizado, evaluado entre los 13 y 39 días después de la siembra. A=TzBZ: Tezontle + bagazo de la caña; B=TzCZ: Tezontle + cachaza; C=TzCC: Tezontle + cascarilla de café; D=TZ: Tezontle.

5.4 Altura de plántula

Las plántulas de mayor altura (3.55 cm) fueron de la variedad Sympathy, mismas que son significativamente diferentes al resto de las variedades. Por el contrario, las plántulas de las variedades California y Yolo Wonder tuvieron menor altura y también son estadísticamente diferentes al resto (**Figura 4A**). En el caso particular de la variedad California, la menor altura obedece, entre otras cosas, a la menor edad de las plantas, dado que la germinación de esta variedad fue más lenta respecto al resto, independientemente del sustrato empleado (**Figuras 3A1 y 3A2**).

En lo que respecta al sustrato utilizado, destaca la altura de plántulas registradas en el tezontle (TZ), con una media estadísticamente superior a la obtenida con el resto de los sustratos. Asimismo, las menores alturas se observaron en plantas establecidas en sustratos conteniendo bagazo (TZBZ) y cascarilla de café (TZCC), teniendo éstas en promedio una altura menor en 41.13% a las plántulas establecidas en tezontle (**Figura 4B**).

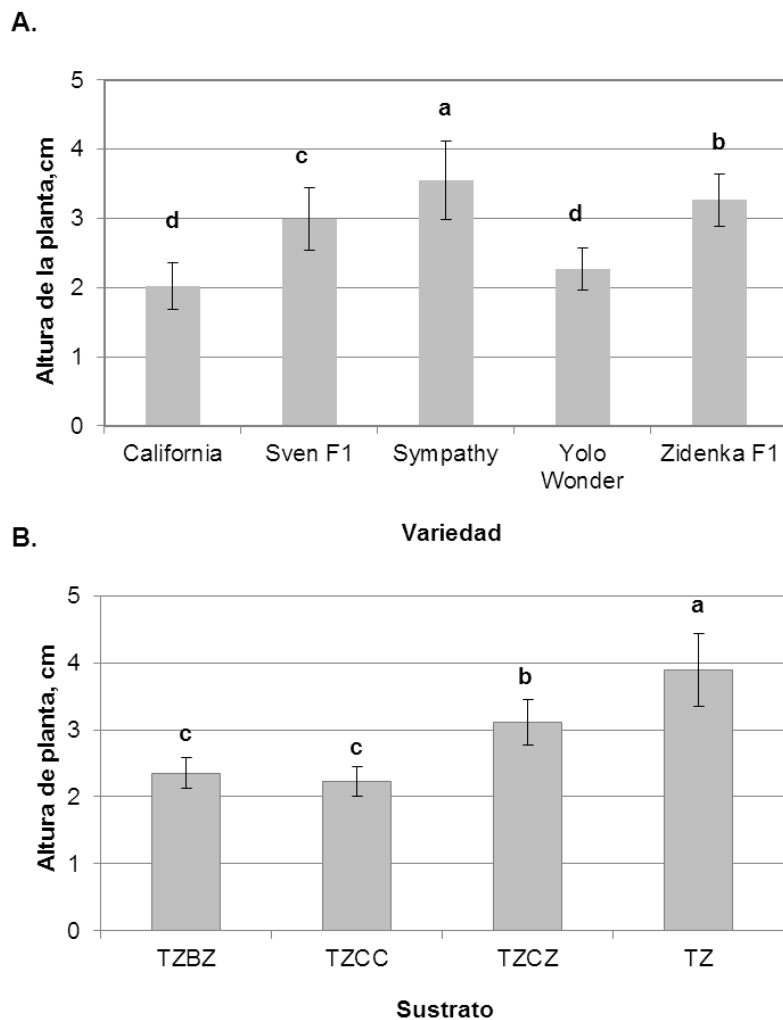


Figura 4. Altura de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B), a los 62 días después de la siembra. En Fig. 4B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5 Diámetro de tallo

Las plántulas con mayor diámetro de tallo correspondieron a la variedad Zidenka F1, con diferencias estadísticas significativas con el resto, excepto con la variedad Sven F1.

En plantas de la variedad California se registraron los menores diámetros de tallo (Figura 5A). Por efecto de sustrato, el diámetro de plántulas establecidas en tezontle (TZ) fue significativamente mayor, al de plántulas creciendo en el resto de sustratos en estudio (Figura 5B).

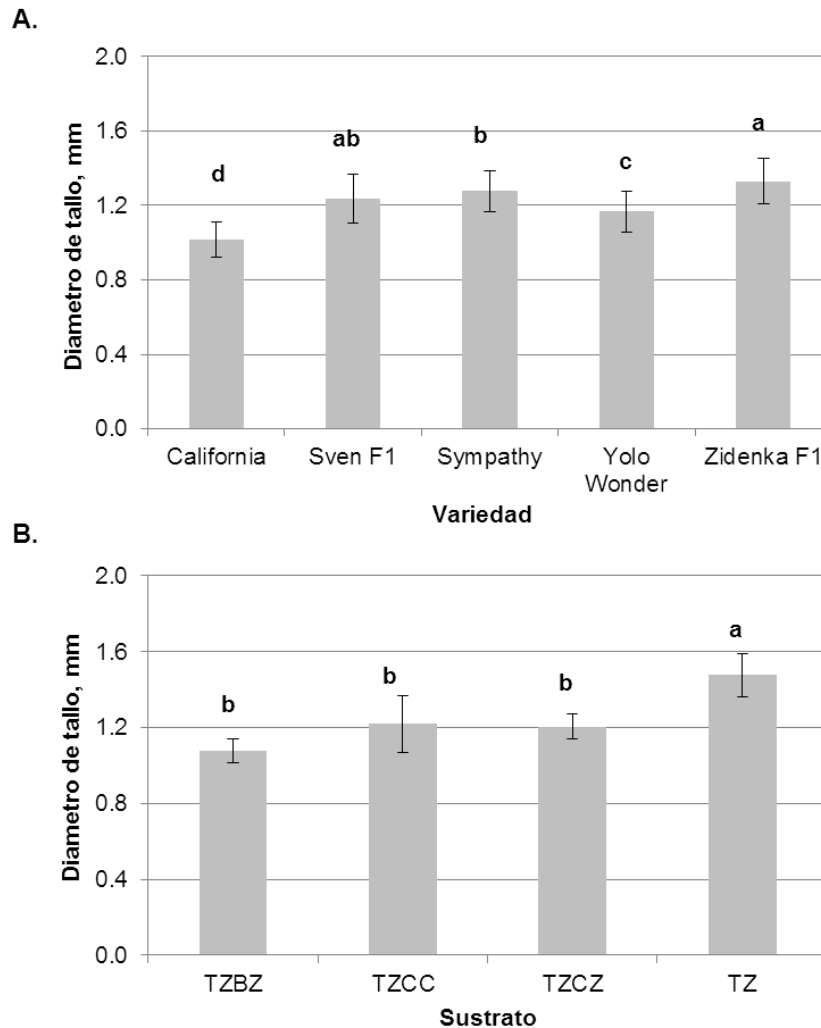


Figura 5. Diámetro de tallo de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 5B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.6 Número de hojas

El número de hojas por variedad y por sustrato utilizado, es presentado en la [Figura 6](#).

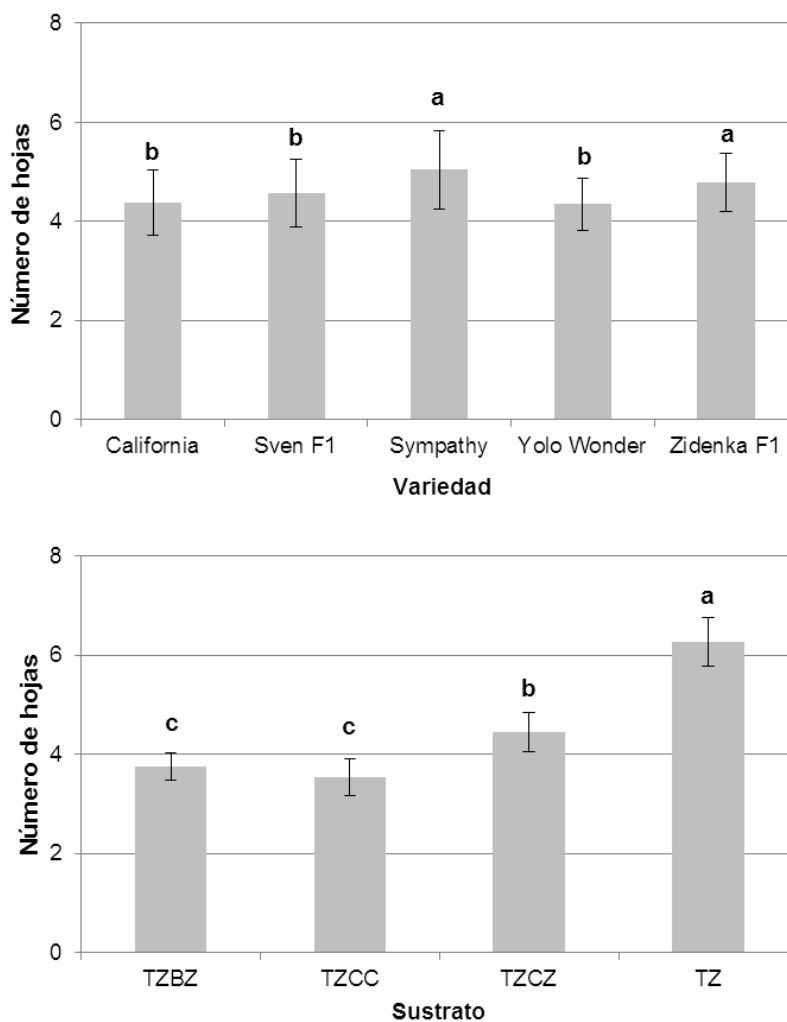


Figura 6. Número de hojas en plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 6B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Las variedades Sympathy y Zidenka F1 tuvieron mayor número de hojas que el resto evaluadas (**Figura 6A**). Por otra parte, por efecto del sustrato el mayor número de hojas se presentó en plántulas establecidas en tezontle (TZ), seguidas de plántulas en sustrato conteniendo cachaza (TZCZ), bagazo (TZBZ) y cascarilla de café (TZCC) como se observa en la **Figura 6B**.

5.7 Longitud de raíz principal

La longitud de la raíz principal de las variedades de pimiento estudiadas osciló de 3.74 a 5.45 cm. De la prueba de comparación de medias resultaron tres grupos de significancia; el primero, constituido por las variedades Sven F1 y Zidenka F1 con la mayor longitud; el segundo la variedad Sympathy; y por último, el tercer grupo constituido por las variedades Yolo Wonder y California con las menores longitudes (**Figura 7A**).

Respecto a sustratos, el uso de tezontle incrementó significativamente la longitud de raíz principal con valores promedio de 5.77 cm; en contraste, las menores longitudes se registraron en los sustratos con bagazo (TZBZ) y cascarilla de café (TZCC) con valores medios de 4.44 y 4.17 cm, respectivamente (**Figura 7B**).

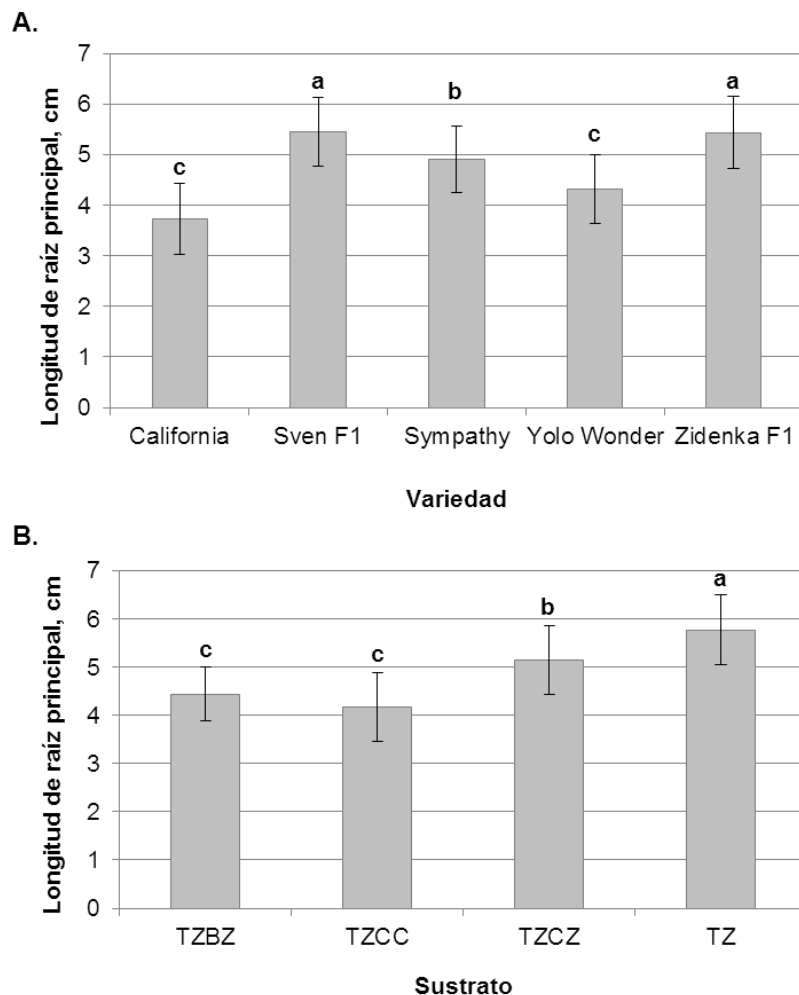


Figura 7. Longitud de raíz principal de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 7B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.8 Peso seco de parte aérea

De manera consistente con otros parámetros de crecimiento como son la altura de planta (**Figura 4A**), las variedades California y Yolo Wonder tuvieron el menor peso de biomasa seca de vástago, y éste fue significativamente diferente al del resto de las variedades (**Figura 8A**). Asimismo, por efecto de sustrato (**Figura 8B**) se observa que,

plántulas creciendo en tezontle tuvieron el mayor peso de biomasa aérea, seguidas de aquellas establecidas en sustrato con cachaza (TZCZ) y finalmente en plántulas que desarrollaron en sustratos con cascarilla de café (TZCC) y bagazo (TZBZ).

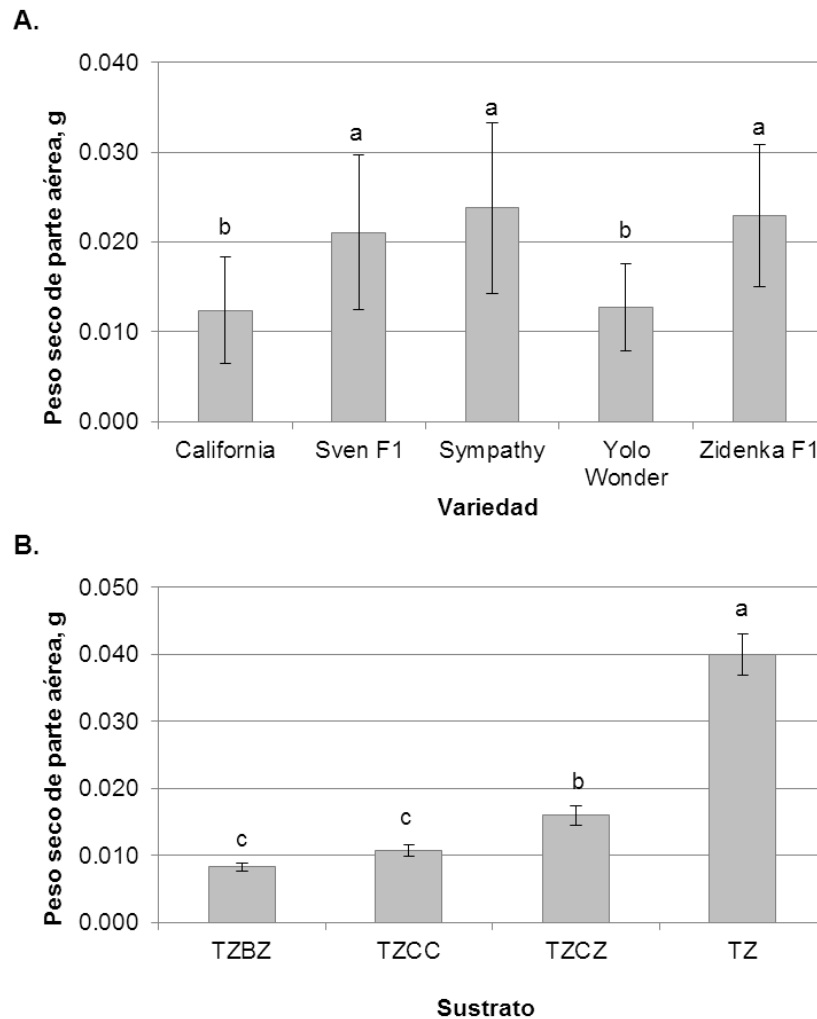


Figura 8. Peso seco de parte aérea (vástago) de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 8B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.9 Peso seco de raíces

Los resultados de peso seco de raíces se relacionan de manera positiva con las tendencias observadas en el peso seco de vástagos; es decir, las variedades Sven, Sympathy y Zidenka F1 registraron las medias más altas; así también, plántulas desarrolladas en tezontle, independientemente de la variedad, tuvieron mayor peso seco de raíces (**Figura 9**).

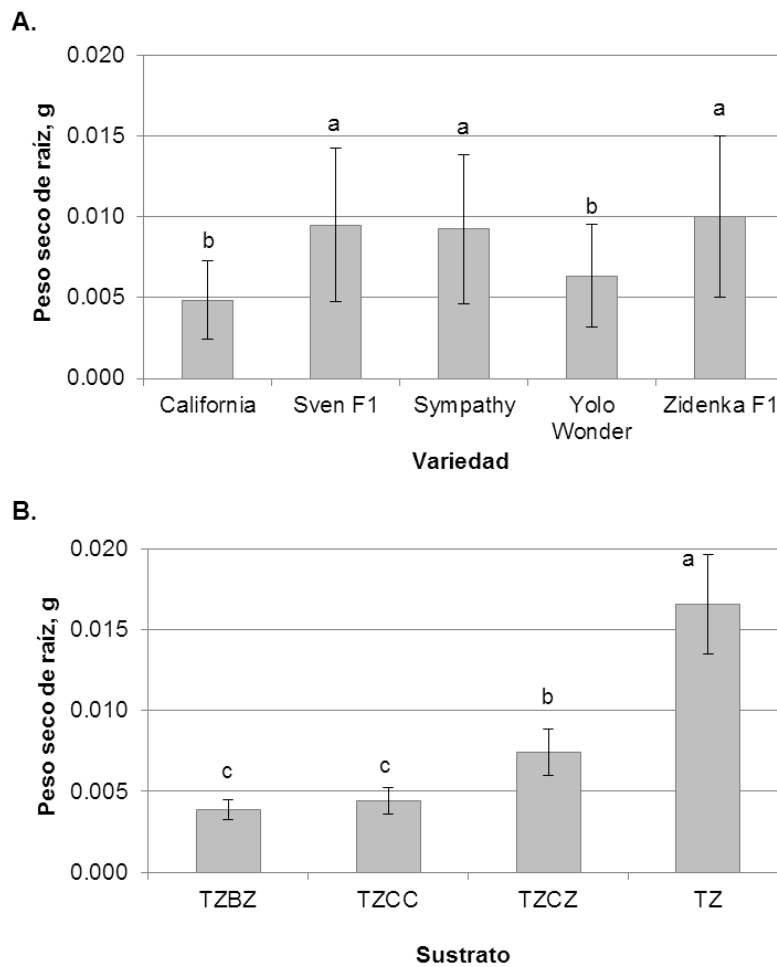


Figura 9. Peso seco de raíces de plántulas de pimiento morrón, por variedad (A) y por sustrato usado (B) a los 62 días después de la siembra. En Fig. 9B: TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZCC= Tezontle + cascarilla de café; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.10 Concentración nutrimental

La concentración de N entre variedades no fue estadísticamente diferente. En el resto de los nutrimentos la variedad que mostró los mayores valores de concentración de macronutrimentos fue la Sven F1, con excepción de la concentración de K. Contrario a lo antes descrito, la variedad Zidenka F1 registró las menores concentraciones de P, K, Ca y Mg en vástago (**Cuadro 8**).

Entre sustratos, con excepto del N, el resto de los macronutrimentos tuvieron concentraciones diferentes, siendo el sustrato con cachaza el de medias más altas (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. Concentración de macronutrimentos en vástagos por efecto de variedad y de sustrato.

Variedades	Concentración (g kg ⁻¹ de materia seca)				
	N	P	K	Ca	Mg
Sven F1	14.28 ± 0.35 a	4.62 ± 1.25 ab	24.11 ± 3.32 b	8.45 ± 1.20 a	6.53 ± 0.67 a
Sympathy	14.34 ± 0.31 a	4.83 ± 1.97 a	25.73 ± 6.04 a	7.52 ± 1.35 b	6.33 ± 1.21 a
Zidenka F1	13.81 ± 0.51 a	4.48 ± 1.96 b	23.57 ± 5.53 b	7.60 ± 1.58 b	6.03 ± 1.32 b
Sustratos	N	P	K	Ca	Mg
TZBZ	14.11 ± 0.34 a	3.43 ± 0.47 b	14.59 ± 0.47 c	4.46 ± 0.41 c	3.76 ± 0.47 c
TZCZ	13.97 ± 0.50 a	9.05 ± 0.59 a	36.42 ± 2.57 a	10.10 ± 0.43 a	8.23 ± 0.59 a
TZ	14.34 ± 0.39 a	1.46 ± 0.13 c	22.39 ± 1.78 b	8.99 ± 0.74 b	6.89 ± 0.41 b

TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Medias ± DE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, P ≤ 0.05).

Las tendencias observadas en las concentraciones de micronutrimentos y de sodio en vástago entre variedades, son coincidentes con las registradas en macronutrimentos;

es decir, de manera general, mayores concentraciones de éstos en la variedad Sven F1 y menores en la variedad Zidenka F1 (**Cuadro 9**).

Cuadro 9. Concentración de micronutrientos y sodio en vástagos por efecto de variedad y de sustrato.

Variedades	Concentración (mg kg ⁻¹ de materia seca)		
	Fe	Cu	Zn
Sven F1	85.34 ± 17.71 a	49.88 ± 6.52 ab	45.07 ± 9.24 a
Sympathy	82.88 ± 9.12 a	50.36 ± 9.11 a	37.09 ± 4.01 b
Zidenka F1	70.40 ± 10.99 b	46.11 ± 8.15 b	41.24 ± 8.42 ab
	Mn	B	Na
Sven F1	30.70 ± 3.83 a	134.76 ± 16.61 a	1203.11 ± 211.46 a
Sympathy	27.96 ± 4.18 b	113.31 ± 7.34 b	802.96 ± 72.01 b
Zidenka F1	23.86 ± 4.75 c	97.40 ± 6.38 c	792.27 ± 58.83 b
Sustratos	Fe	Cu	Zn
TZBZ	51.91 ± 3.48 c	44.05 ± 8.77 b	26.19 ± 2.46 c
TZCZ	80.32 ± 5.92 b	60.76 ± 7.25 a	42.85 ± 2.98 b
TZ	106.40 ± 9.43 a	41.54 ± 2.05 b	54.37 ± 7.32 a
Sustratos	Mn	B	Na
TZBZ	17.30 ± 2.50 b	113.15 ± 16.80 b	984.27 ± 202.51 a
TZCZ	33.61 ± 1.67 a	100.03 ± 4.68 c	976.85 ± 190.93 a
TZ	31.62 ± 2.78 a	132.29 ± 10.77 a	837.22 ± 53.70 a

TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Medias ± DE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, P ≤ 0.05).

Las concentraciones de micronutrientos por efecto de sustrato son estadísticamente diferentes entre tratamientos. En el tezontle, de manera general se registraron altas concentraciones de los micronutrientos, a excepción del Cu; por el contrario en el

sustrato conteniendo bagazo se registraron las menores concentraciones de micronutrientes. La concentración de Na no fue estadísticamente diferente entre sustratos (**Cuadro 9**).

5.11 Acumulación nutrimental

Entre variedades de pimiento no se presentaron diferencias estadísticas significativas en la acumulación de ningún macronutrientes, como tampoco de Fe, Mn, B y Na. La mayor acumulación de Cu se tuvo en la variedad Sympathy y la de Zn en la variedad Sven F1 (**Cuadro 10**).

Cuadro 10. Acumulación de macronutrientes, micronutrientes y sodio en vástagos por efecto de variedad.

Variedades	Acumulación nutrimental (μg)					
	N	P	K	Ca	Mg	
Sven F1	322.1 \pm 117.7 a	77.9 \pm 19.0 a	577.7 \pm 221.6 a	215.2 \pm 94.3 a	160.5 \pm 67.5 a	
Sympathy	362.7 \pm 128.8 a	93.4 \pm 34.9 a	643.7 \pm 205.3 a	202.8 \pm 74.1 a	170.6 \pm 61.8 a	
Zidenka F1	332.4 \pm 111.5 a	90.5 \pm 40.5 a	565.7 \pm 168.3 a	201.7 \pm 71.3 a	157.7 \pm 54.3 a	
Variedades	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Na
Sven F1	2.36 \pm 1.20 a	0.98 \pm 0.28 b	1.24 \pm 0.63 a	0.77 \pm 0.33 a	3.11 \pm 1.32 a	21.90 \pm 4.86 a
Sympathy	2.33 \pm 0.97 a	1.25 \pm 0.38 a	0.98 \pm 0.36 b	0.75 \pm 0.28 a	3.14 \pm 1.31 a	21.74 \pm 9.33 a
Zidenka F1	1.94 \pm 0.81 a	1.12 \pm 0.33 ab	1.14 \pm 0.45 ab	0.64 \pm 0.24 a	2.44 \pm 0.85 a	19.61 \pm 6.56 a

Medias \pm DE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Con excepción de la acumulación de P, la cual fue mayor en vástagos de plántulas establecidas en cachaza, el resto de los macronutrientes, presentaron mayor acumulación en plántulas creciendo en tezontle. Por otro lado, las menores acumulaciones de macronutrientes se registraron en el sustrato a base de bagazo (**Figura 10**).

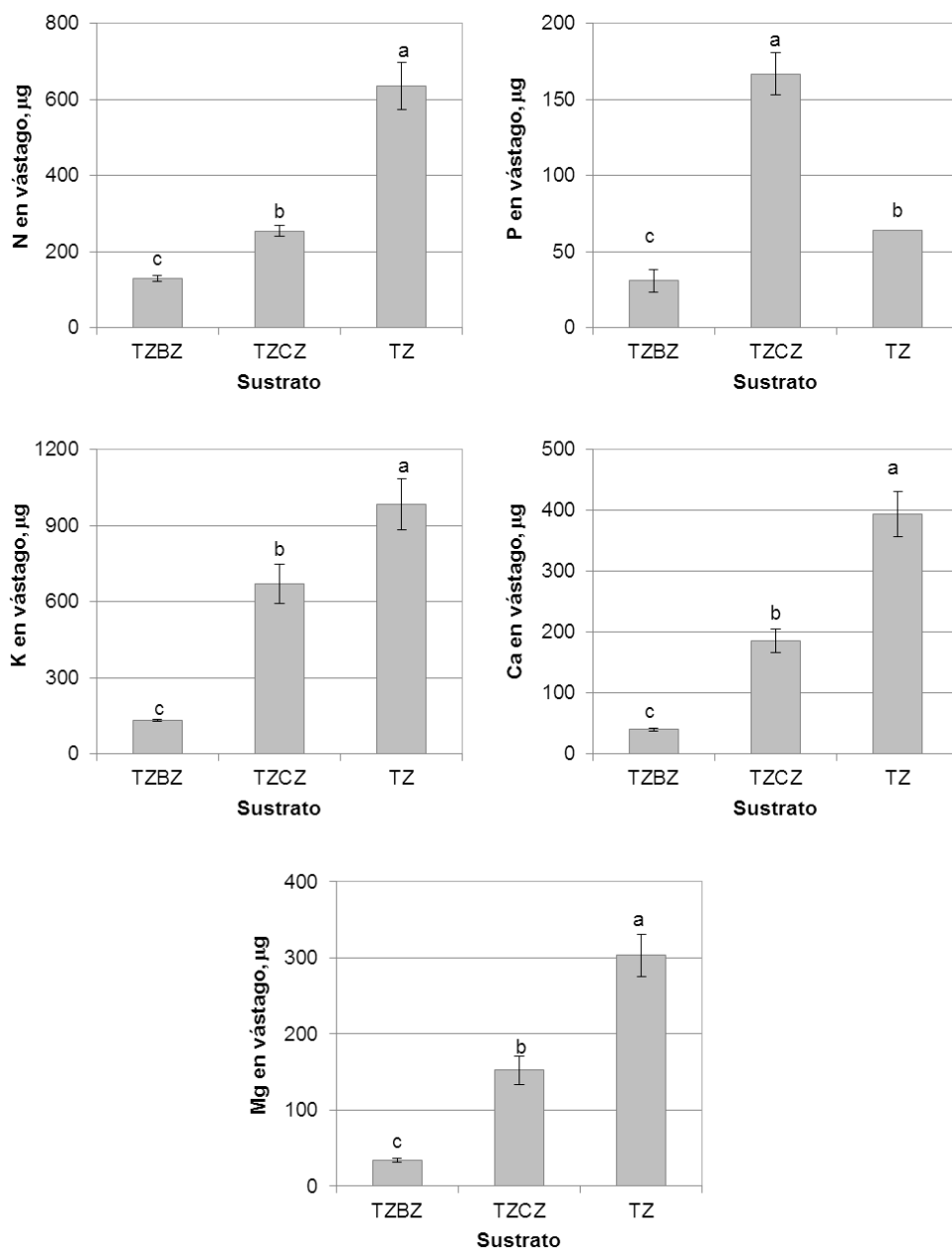


Figura 10. Acumulación de macronutrientes en vástagos de plántulas de pimienta morrón, por sustrato usado a los 62 días después de la siembra. TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Barras ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Así también, los micronutrientes y el Na se acumularon en cantidades significativamente mayores en vástagos de plántulas crecidas en tezontle. Con el

empleo del sustrato con bagazo, se registraron, por el contrario, las menores acumulaciones de micronutrientos y sodio (**Figura 11**).

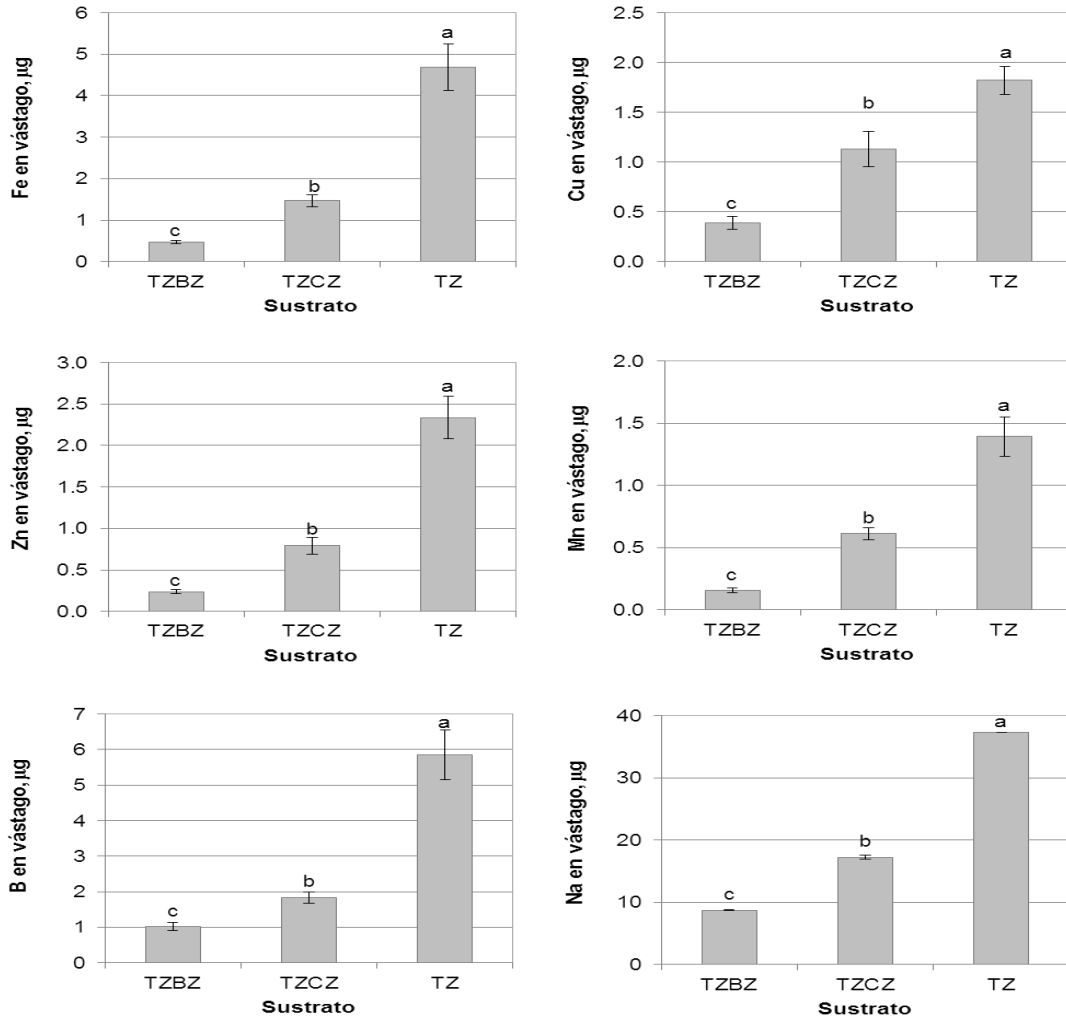


Figura 11. Acumulación de micronutrientos y sodio en vástagos de plántulas de pimiento morrón, por sustrato usado a los 62 días después de la siembra. TZBZ=Tezontle + bagazo de la caña; TZCZ= Tezontle + cachaza; TZ= Tezontle. Barras \pm DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

VI. CONCLUSIONES

Los sustratos evaluados tienen diferentes características, siendo el que contiene cachaza el que muestra las propiedades físicas más aptas para la producción de plántulas. Sin embargo, los sustratos evaluados tienen efectos diferentes como el porcentaje y tiempo de germinación de semillas de pimiento morrón. El sustrato basado en la combinación de cascarilla de café con tezontle tiene alta CE, tuvo efecto negativo en la germinación y sobrevivencia de las plántulas. Las plántulas de las cinco variedades de pimiento morrón muestran mayor crecimiento y calidad, aquellos establecidos en tezontle y sustrato conteniendo cachaza se ubicó como el segundo mejor. Las variedades California y Yolo Wonder manifestaron menor germinación y crecimiento, independiente del sustrato empleado.

VII. LITERATURA CITADA

- Abad M., Martínez-Herrero M. D., Martínez-García P. F., Martínez-Corts J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- Abad-Berjon M., Noguera-Murray P., Carrión-Benedito C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. *In: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Mundi Prensa. Madrid, España.*
- Alcántar G. G., Sandoval V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C. Publicaciones especial No. 10. Chapingo México. 156 p.
- Aloni B., Pashkar T., Karni L. 1991. Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and transplant development. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 995-999.
- Andrade R. M., Ayala H. J. J., Alia T. I., Rodríguez M. H., Acosta D. C. M., López M. V. 2008. Efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 25:617-635.
- Ansorena M. J. 1994. Sustrato propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Arcos B., Benavides O., Rodríguez M. 2011. Evaluación de los sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* 28(2): 95-108.
- Argo W. R. 1998. Root medium chemical properties. *HortTechnology* 8: 486-494.
- Basanta R., García D. M. A., Cervantes M. J. E., Mata V. H., Bustos V. G. 2007. Sostenibilidad de reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5(4): 293-305.
- Berrocal M. 1987. Efecto de los residuos de la industria azúcar-alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un vertisol de Guanacaste. *Agrociencia Costarricense* 12(2): 147-153.

- Berrospe-Ochoa E. A., Ordaz-Chaparro V. M., Rodríguez-Mendoza M. N., Quintero-Lizaola R. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 141-156.
- Bremner J. M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. *In: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9.* Black C. A. (ed.). American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Briceño J., Gudiño J., Zorrilla E. 2009. Sustrato a base de café, estiércol, coco y arena para la germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum*). *Revista Científica Juvenil VII-VIII*: 81-86.
- Brito J., Chada I., Pinto P., Guerrero C., Beltrão J. 2007. Sugarcane pulp residue as a horticultural substratum and as an organic corrective. *International Journal of Energy and Environment* 2(1): 75-78.
- Brito L. M., Mourão I. 2012. Characterizing different horticultural substrates and growth containers. *Agrotec* 2-3: 32-38, 64-69.
- Bunt, A. C. 1988. Media and Mixes for container-grown plants. 2^a ed. Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Cabecinha A., Guerrero C., Beltrão J., Brito J. 2010. Carob residues as a substrate and a soil organic amendment. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 5(6): 317- 326.
- Cabrera R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 5-11.
- Caldeira M. V. W., Schumacher M. V., Tedesco N. 2000. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em funcao de diferentes doses de vermicomposto. *Scientia Florestalis, Piracicaba* 57: 161-170.
- Carrijo O. A., Liz R. S., Makishima N. 2002. Fibra da casca do coco verde como sustrato agrícola. *Horticultura Brasileira* 20(4): 533-535.
- Cosechando Natural. 2009. Semilla de pimiento morrón var. California Wonder color verde. Consultado en 29 de Agosto de 2013. En http://www.cosechandonatural.com.mx/semillas_de_pimiento_morrón_ctpr15_28.html

- Cruz H. N., Sánchez C. F., Ortiz C. J., Mendoza C. M. C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimienta. *Agricultura Técnica en México* 35: 70- 77.
- Cruz-Crespo E., Sandoval V. M., Volke H. V., Ordaz Ch. V., Tirado T. J. L., Sánchez E. J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28(3): 219-229.
- Cruz-Crespo E., Can-Chulim A., Sandoval-Villa M., Bugarín-Montoya R., Robles-Bermúdez A., Juárez-López P. 2012. Sustrato en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2(2): 17-26.
- De Araújo N. S. E., Araújo de Azevedo J. M., De Oliveira Galvão R., De Lima Oliveira E. B., Félix Ferreira R. L. 2009. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos *Ciência Rural, Santo Maria*. 39(5): 1408-1413.
- De Boodt M., Verdonck O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26: 37-44.
- De Boodt, M., Verdonck O., Cappaert I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta de Horticultura*. 37: 2054-2062.
- De Grazia J., Tittonell P. A., Chiesa A. 2004. Growth and quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) transplants as affected by substrate properties and irrigation frequency. *Advances in Horticultural Sciences* 18:181-187.
- De Grazia J., Tittonell P. A., Chiesa A. 2007. Efectos de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimienta (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación Agraria* 34: 195-204.
- De Medeiros C., Freitas K. C. S., Veras F. S., Anjos R. S. B., Borges R. D., Cavalcante Neto J. G., Nunes G.H.S., Ferreira H. A. 2008. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizantes. *Horticultura Brasileira* 26: 186-189.
- Demir I., Ermis S., Mavi K., Matthews S. 2008. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. *Seed Sci. Technol.* 36: 21-30.

- Espíndola T. P., Feltrin D. M., André P. C., Schwingel M. 2007. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. *Horticultura Brasileira* 25: 256-260.
- Fan L., Socol C. R. 2005. Coffee residues. *In*: Gush R. (ed.). *Mushroom Growers Handbook 2*, Mush World, Seoul. p 92.
- Fernández-Bravo C., Urdaneta N., Silva W., Poliszuk H., Marín M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Río grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 23(2): 188-195.
- Forero F. E., Fernández J. P., Álvarez-Herrera J. G. 2010. Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Revista U. D. C. A. Actualidad y Divulgación Científica* 13(1): 77-86.
- García M. C., Taboada G. O. R., López S. H., Antonio L. P., Mora A. G., Tlapal B. B. 2011. Calidad de plántulas de chile poblano en la sierra nevada de Puebla, México. *Rev. Fitotec. Méx.* 34(2): 115-121.
- Gliński J., Horabik J., Lipiec J. 2011. *Encyclopedia of Agrophysics*. Springer Science+Business Media B. V. DOI 10.1007/978-90-481-3585-1.
- Gomes L. A. A., Rodrigues A. A., Collier L. S., Feitosa S. S. 2008. Produção de mudas de alface em substrato alternativo com adubação. *Horticultura Brasileira* 26: 359-363.
- Guzmán M., Sánchez A. 2003. Influence of nitrate and calcium increments on development, growth and early yield in sweet pepper plants. *Acta Hort.* 609: 207-211.
- Herrera F., Castillo J. E., Chica A. F., López B. L. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresour Technol.* 99: 287–296.
- Infoagro. 1997. El cultivo de pimiento. Consultado en 16 de Junio de 2013. En <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>.
- ISTA. 1966. *International rules for seed testing*. Wageningen, Netherlands.
- Kaciu S., Fetahu S., Aliu S., Ramadani S., Rusinovci, I. 2009. Influence of different types of substrates in growth intensity of seedlings for different hybrids. *Sjemenarstvo* 26: 47-54.

- Kleiber T., Markiewicz B., Niewiadomska A. 2012. Organic substrates for intensive horticultural cultures: Yield and nutrient status of plants, microbiological parameters of substrates. *Pol. J. Environ. Stud.* 21(5): 1261-1271.
- Latshaw K., Fitzgerald J., Sutton R. 2009. Analysis of Green Roof Growing Media. *Rurals: Review of Undergraduate. Research in Agricultural and Life Sciences.* 4(1): 1-9.
- Leifa F., Pandey A., Soccol C. R. 2001. Production of *Flammulina velutipes* on coffee husk and coffee spent-ground. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 44(2): 205-212.
- López-Baltazar J., Méndez-Matías A., Pliego-Marín L., Aragón-Robles E., Robles-Martínez M.L. 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1139-1150.
- Luan S., Lan W., Chul Lee S. 2009. Potassium nutrition, sodium toxicity, and calcium signaling: connections through the CBL-CIPK network. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12(3): 339-346.
- Magdaleno-Villar J. J., Peña-Lomelí A., Castro-Brindis R., Castillo-Gonzalez A. M., Galvis-Spinola A., Ramirez-Pérez F., Becerra-López P. A. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plásticos en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 153-158.
- Manenoi A., Tamala W., Tunsungnern A., Amassa P. 2009. Evaluation of an on-farm organic growing media on the growth and development of pepper seedlings. *Asian Journal of Food and Agro-industry* 2: S75-S80.
- Marcelis L. F. M., Heuvelink E., Hofman-Eijer L. R. B., Bakker J. D., Xue L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268.
- Mazarura, U. 2013. Exploring the influence of coal rubble and pine bark substrate mixes on germination, spiral rootind, substrate chemical and physical properties: using tobacco as test crop. *Asian Economic and Social Society* 3(3): 115-126.

- Mazzafera, P. 2002. Degradation of caffeine by microorganisms and potential use of decaffeinated coffee husk and pulp in animal feeding. *Scientia Agricola* 59(4): 815-821.
- Mohee R., Panray B. R. 1999. Life cycle analysis of compost incorporated sugarcane bioenergy systems in Mauritius. *Biomass and Bioenergy* 17: 73-83.
- Mora, L. 1999. Sustratos para cultivo sin suelo o hidroponía. pp. 9-10 *In: XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos*. San José, Costa Rica.
- Moya P. M., Durán M., Sibaja M. 1990. Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café. *Agronomía Costarricense* 14(2): 169-174.
- Naasz R., Caron J., Legault J., Pichette A. 2009. Efficiency factors for bark substrates: Biostability, Aeration, or Phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73(3): 780-791.
- Nascimento W. M., Souza R. B., Silva J. B. C., Carrijo O. A. 2003. Seed Germination and Stand Establishment of Vegetable Crops in Different Substrates under Tropical Conditions. *Acta Hort.* 609: 483-485.
- Nicola S., Basoccu L. 1994. Pretransplant nutritional conditioning affects pepper seedling growth and yield. *Acta Hort.* 361: 519-526.
- Noguera P., Abad M., Puchades R., Maquieiraa A., Noguera V. 2003. Influence of Particle Size on Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust as Container Medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 593-605.
- Noordefraaf C. V. 1994. Production and marketing of high quality plants. *Acta Horticulturae* 353: 134-148.
- Noriega S. A., Silva A. R., García S. M. 2008. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. *Zootecnia Trop.* 26(4): 411-419.
- NSW, 2004. Readily available water (RAW). Series 1. Irrigation Farm Resources. Fact Sheets. NSW Department of Primary Industries Bookshop. Australia.
- Nuez F., Gil R., Costa J. 2003. El cultivo de pimiento chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Oland B. L., Starrett M.C. 2002. Seed germination performance and initial seedling development in conventional and organic soilless germination media. pp. 557-558. *In: XXVI International Horticultural Congress*, Toronto, Canada.

- Ortega-Martínez L. D., Sánchez-Olarte J., Ocampo-Mendoza J., Sandoval-Castro E., Salcido-Ramos B. A., Manzo-Ramos F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346.
- Papadopoulos A., Bar-Tal A., Siver A., Saha U., Raviv M. 2008. Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. pp 505-543. *In: Raviv M., Leith J. H. (eds). Soilless culture: theory and practice. Elsevier. 587 p.*
- Pastor-Sáez, J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- Paulus D., Paulus, E. 2007. Efeito de substratos agrícolas na produção de mudas de hortelã propagadas por estaquia. *Horticultura Brasileira* 25(4): 594-597.
- Pernalet Z., Piña F., Suárez M., Ferrer A., Aiello C. 2008. Fraccionamiento de bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: Efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro* 20(1): 3-10.
- Pierre F., Rosell M. B., Quiroz A. I. 2009. El compostaje de la pulpa de café como alternativa para los cafeticultores. Instituto nacional de investigaciones agrícolas. Yaracuy-Venezuela.
- Porter-Humpert C. 2000. New trends in sustainable farming build compost use. *ByoCycle* 41: 30-35.
- Raviv M., Leith J. H. 2008. *Soilless culture: theory and practice. Elsevier. United States of America. 625 p.*
- Raviv M., Wallach R., Silber A., Bar-Tal A. 2002. Substrate and their analysis. pp. 25-105. *In: Savvas D., Passarn, H. (eds). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications. Athens, Greece.*
- Rijk Zwaan. 2013b. Sympathy Rz F1. Consultado en 21 de agosto 2013. En http://www.rijkszwaan.com/wps/wcm/connect/RZ+ES/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Pimiento
- Rijk Zwaan. 2013c. Zidenka Rz F1. Consultado en 22 de agosto de 2013. En http://www.rijkszwaanusa.com/wps/wcm/connect/RZ+USA/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Sweet+Pepper?pcpage=3&frm=1&var=671100&hi

s=c293LHVuZGVmaW5lZCwwO2hhcnYsdW5kZWZpbmVklDA7cGxhbnQsdW5kZWZpbmVklDA7cmFkaW9zY2hIZCxoYXJ2LDA7

- Roca G. A., Glauco S. C., Olivares G. E., Barbosa C. A. 2006. Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: caracterización físicas. Scielo Proceeding: An. 6. Enc. Energ.
- Rodríguez V. N., Zambrano F. D. A. 2010. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Federación Nacional de cafeteros de Colombia. Avances técnicos 393 CENICAFÉ. 8 p.
- Rosca V. 2009. Optimization of nitrogen concentration in the fertilization solution for production of seedlings in cell trays. Acta Hort. 807: 613-618.
- Salgado G. S., Bucio A. L., Riestra D. D., Lagunes E. L. C. 2001. Caña de azúcar: Hacia un manejo sustentable. Colegio del Postgraduados, Campus Tabasco. Mexico. 394 p.
- San Martín-Hernández C., Ordaz-Chaparro V. M., Sánchez-García P., Colinas-Leon M.T.B. y Borges-Gómez L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. Agrociencia 46: 243-254.
- Santos-Castillo I. D., Camejo-Barreiro L. E. 2010. La descontaminación de las aguas del lago Izabal en Guatemala a través de la extracción de la planta *Hydrilla verticillata* (L. F.) Royle y su uso como sustrato alternativo para la producción de plántulas de chile pimiento en invernadero. Revista de Ciencia y Técnica Agrícola 19: 43-52.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2001), Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, México, Sagarpa-cea.
- Slowińska-Jurkiewicz A., Jaroszek-Sierocińska M. 2011. Horticulture substrates, structure and physical properties. pp 364-367. *In*: Encyclopedia of Agrophysics.
- Smart Gardener. 2013. Yolo wonder L. Consultado en 22 de agosto de 2013. En <http://www.smartgardener.com/plants/1458-peppers-yolo-wonder-l/overview>

- Soler R., Brunetti P., Senesi N. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acid from sewage sludges and sludgeamended soils. *Soil Sci.* 167: 235-245.
- Sotolongo P. J. A., Almarales A. A., Blnaco L. C., Parúas C. R., Chi O. L., García P. S. 2000. Impacto ambiental de los residuales de interés económico y social de la provincia Guantánamo. Soluciones energéticas y medioambientales. *Tecnología Química* 20(3): 76-82.
- Terés V., Arrieta V., Olabarría I., Esnaola I. 1993. Comparación de métodos para la medida de la densidad real en corteza de pino de diferentes granulometrías. *Acta de Horticultura* 10: 1152-1156.
- Trejo-Téllez L. I., Ramírez-Martínez M., Gómez-Merino F. C., García-Albarado J. C., Baca-Castillo G. A., Tejeda-Sartorius O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 863-876.
- Vence, L. B. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencias del Suelo (Argentina)* 26(2): 105-114.
- Wever G. 2002. Numerous options when considering a growing medium. *FlowerTECH* 5(7): 34-36.
- Yilmaz K., Akinci, I. E., Acinci, S. 2004. Effect of salt stress on growth and Na, K contents of pepper (*Capsicum annuum* L.) in germination and seedling stages. *Pak. J. Biol. Sci.* 7: 606-610.
- Zérega M. L. 1993. Manejo y usos agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. FONAIAP-YARACUY.vol. 11 No 2. Venezuela.