



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

EFFECTO E INTERACCIÓN DE TRES CULTIVARES DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) TIPO BOLA Y TRES SUSTRATOS SOBRE
EL RENDIMIENTO Y LA CAUDAD DEL FRUTO, EN INVERNADERO

Por:

José Régulo Chávez Vázquez

Trabajo presentado como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA



MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

EFFECTO E INTERACCIÓN DE TRES CULTIVARES DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) TIPO BOLA Y TRES SUSTRATOS SOBRE
EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL FRUTO, EN INVERNADERO

Por:

José Régulo Chávez Vázquez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Cesario Jasso Chaverría

ASESORES

Dr. José Luis Lara Mireles

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

La presente tesis titulada: **EFFECTO E INTERACCIÓN DE TRES CULTIVARES DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* MILL) TIPO ROLA Y TRES SUSTRATOS SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL FRUTO, EN INVERNADERO**, fue realizada por el C. Ing. José Régulo Chávez Vázquez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias Agropecuarias, el cual fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Cesario Jasso Chaverria
Asesor



Dr. José Luis Lara Mireles
Asesor



Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz
Asesor



DEDICATORIA

A los que ya se fueron, pero gracias a ellos estoy aquí comprendiendo el sentido de la vida:

- María de la Luz Vázquez de Chávez.
- José Régulo Chávez López.
- María del Socorro Chávez Vázquez.

La base de toda sociedad es la familia, es allí donde adquirimos los cimientos de lo que será nuestro desempeño en la vida.

- Especialmente a mi esposa Juana María Ibarra de Chávez y a mis hijas Luz Angélica y Andrea Chávez Ibarra, gracias por apoyarme en todo momento.
- A mis hermanas y hermanos.
- A mi tía Angélica.

José Régulo

Las instituciones son la fortaleza de las sociedades, gracias por contribuir a mi formación:

- Facultad de Agronomía de la UASLP
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis
- Facultad de Ingeniería de la UASLP
- Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP

El eje del proceso enseñanza-aprendizaje es el maestro, gracias por transmitirme sus conocimientos y experiencias:

- Planta de profesores del posgrado en Ciencias Agropecuarias, área Sistemas de Producción de Hortalizas

El grupo de aprendizaje debe constituirse como un equipo para lograr un aprendizaje significativo, gracias por permitirme aprender interactuando:

- Compañeros de clase (Leonor, Catalina, Angel, José Cuadalupe, José Antonio, Javier).

La integración de conocimientos para su aplicación requiere de personas calificadas que guían y aconsejan al alumno, gracias asesores por iluminarme el camino de la ciencia, evitándome el extravío:

- Dr. José Luis Lara Mireles
- Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz
- Dr. Cesario Jasso Chaverra (asesor principal). Gracias además, por darme la confianza y la oportunidad de desarrollar mi tesis, pero sobretudo, por el invaluable apoyo que siempre recibí de su parte.

El conocimiento no tiene fronteras, el conocimiento se amplía en la medida en que existen más protagonistas, gracias por contribuir a armar el rompecabezas:

- Dr. Jorge Alberto Ramírez Telles
- Ing. Olga Leonor Argüemesa Sosa

INDICE GENERAL DEL CONTENIDO

	<i>Número</i>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE GENERAL DEL CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE APÉNDICE.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Origen, Domesticación y Nomenclatura del Tomate.....	6
Descripción Botánica.....	6
Importancia del Tomate.....	8
Técnicas de Producción.....	9
Uso de Invernaderos.....	9
Uso de Sustratos.....	11
Uso de Cultivares.....	23
Calidad de los Frutos de los Cultivares.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
Localización.....	37
Características del Invernadero.....	37
Tratamientos.....	38
Sustratos Utilizados.....	38
Cultivares Utilizados.....	38
Diseño Experimental.....	38

	Página
Parcela Experimental.....	39
Producción de Plántula.....	40
Establecimiento del Cultivo.....	41
Sistema de Riego.....	41
Solución Nutritiva para Planta.....	42
Ciclo del Sistema de Producción.....	43
Variables a Medir.....	43
Rendimiento.....	47
Análisis Estadístico.....	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
Evaluación de la Calidad del Agua de Riego.....	49
Pruebas Microbiológicas y Moleculares Realizadas a Semillas y Hojas	54
Análisis a los Sustratos.....	56
Análisis Foliare.....	60
Días a Primera Flor (DPF).....	64
Altura de Plantas (AP).....	68
Calibre Comercial de los Frutos.....	72
Firmeza del Pericarpio de los Frutos.....	76
Evaluación del Peso Específico de los Frutos.....	83
Determinación del Color de los Frutos.....	88
Contenido de Carotenoides en los Frutos.....	109
pH de los Frutos.....	123
Sólidos Solubles Totales (SST) en los Frutos.....	130
Rendimiento Comercial de Frutos de Tomate.....	136
CONCLUSIONES.....	145
LITERATURA CITADA.....	148
APÉNDICE.....	157

Cuadro		Página
1	Superficie de agricultura protegida por Estado	10
2	Principales países productores de coco en el mundo	17
3	Características físicas de la fibra de coco utilizada como sustrato hortícola, valores medios obtenidos con muestras recogidas de todo el mundo.....	17
4	Principales características físicas y químicas del tezontle	20
5	Solución nutritiva para plántulas de tomate en sustrato inerte	40
6	Solución nutritiva para tomate cultivado en perlita, lana de roca y NFT en Florida, E.U.A.	42
7	Clasificación del tomate por tamaño	45
8	Cationes encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP 2007.....	49
9	Otros elementos encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP 2007.....	50
10	Aniones encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP 2007.....	50
11	Valores de pH, CE y RA ₅₀ encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP 2007.....	51
12	Características de salinidad y sodicidad del agua de riego del pozo del Campo Experimental San Luis del INIFAP 2007.....	53
13	Resultados microbiológicos obtenidos de las muestras de semillas y hojas de los cultivares de tomate	55
14	Resultados moleculares obtenidos por las muestras de semillas y hojas de los cultivares de tomate	55
15	Caracterización física de la perlita	56
16	Caracterización física de la fibra de coco	56
17	Caracterización física del tezontle	57
18	Comparación de las propiedades físicas de los sustratos utilizados con las propiedades físicas del sustrato ideal	59
19	Diagnóstico de macronutrientes a los 25 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate	61
20	Diagnóstico de micronutrientes a los 25 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate	61
21	Diagnóstico de macronutrientes a los 104 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate	62
22	Diagnóstico de micronutrientes a los 104 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate	63
23	Resultado del análisis de varianza para días a primera flor de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero	65

Cuadro		Página
24	Resultado de la prueba de medias en tratamientos para días a primera flor de tres cultivares de tomate bola, bajo condiciones de invernadero	66
25	Resultado del análisis de varianza para altura de plantas de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero	69
26	Prueba de medias para la altura de plantas de tres cultivares de tomate cultivados en invernadero	70
27	Análisis de varianza para el rendimiento de frutos de mayor calibre (super extra, extra y grande) en tomate bola cultivado en invernadero	73
28	Rendimiento de frutos de tomate bola por calibres comerciales mayores, cultivados en invernadero	73
29	Efecto de los sustratos en el rendimiento de frutos de tomate bola por calibres comerciales mayores, bajo condiciones de invernadero	75
30	Rendimiento de frutos de tomate bola por calibres mayores (super extra, extra y grande) en los diferentes tratamientos	76
31	Resultados de los análisis de varianza para el parámetro firmeza en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, cultivados en invernadero	77
32	Prueba de medias para la firmeza de frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	79
33	Resultados de los análisis de varianza para el peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	84
34	Resultados de las pruebas de medias para el peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	86
35	Efecto general de los cultivares en el peso específico de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero	86
36	Efecto general de los sustratos en el peso específico de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	87
37	Resultados de los análisis de varianza para la luminosidad de los frutos de tomate bola cultivados en invernadero	90
38	Resultados por corte de las pruebas de medias para la luminosidad (L*) de frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	92
39	Resultado de la prueba de medias en tratamientos, para los promedios generales de luminosidad (L*) de frutos de tomate bola, cultivados en invernadero	92
40	Resultado general de la prueba de medias en factores y niveles, para la luminosidad de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	93
41	Resultados de los análisis de varianza para el índice de color a* en frutos de tomate bola, cultivados en invernadero	95
42	Resultados por corte de las pruebas de medias realizadas en tratamientos para el índice de color a* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	97

Cuadro		Página
43	Resultado de la prueba de medias en tratamientos para los promedios generales del índice de color a^* , en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	98
44	Resultado general de prueba de medias en factores y niveles para el índice de color a^* , en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	99
45	Resultados de los análisis de varianza para el índice de color b^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, cultivados en invernadero.....	100
46	Resultados por corte de la prueba de medias practicada al índice de color b^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	102
47	Resultados de la prueba de medias en tratamientos, para los promedios generales del índice de color b^* , de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	102
48	Prueba general de medias en factores y niveles para el índice de color b^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	103
49	Resultados por corte de los análisis de varianza para la relación a^*b^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.....	105
50	Resultados por corte de la prueba de medias realizada a la relación a^*b^* de frutos de tomate bola, cultivados en invernadero.....	107
51	Resultado general de la prueba de medias en tratamientos para el índice de color a^*b^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	107
52	Prueba general de medias en factores y niveles, para el índice de color a^*b^* de frutos de tomate bola, cultivados en invernadero.....	108
53	Resultados de los análisis de varianza por corte, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.....	110
54	Resultados por corte de la prueba de medias realizada a los tratamientos, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	113
55	Prueba general de medias en tratamientos, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	114
56	Prueba general de medias en factores y niveles para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	116
57	Resultados de los análisis de varianza por corte para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.....	118
58	Resultados de la prueba de medias por corte para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	120
59	Prueba general de medias en tratamientos para el contenido de β -carotenos de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	120
60	Prueba general de medias en factores y niveles para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	123

Cuadro		Página
61	Resultados de los análisis de varianza para el pH de frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	124
62	Resultados de la prueba de medias por corte, para el pH de frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración bajo condiciones de invernadero	126
63	Resultado general de la prueba de medias en tratamientos para el pH de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	126
64	Resultados de los análisis de varianza por corte para los °Brix de frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	130
65	Resultados de la prueba de medias para °Brix de frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, cultivados en invernadero	132
66	Resultados de los análisis de varianza por corte para el rendimiento total de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	137
67	Resultados de la prueba de medias en los tratamientos para rendimiento total de tomate bola cultivado en invernadero	138
68	Análisis de varianza general para el rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	140
69	Resultado de la prueba de medias en tratamientos para rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	141
70	Resultado general de la prueba de medias en factores y niveles, para el rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	142

Figura		Página
1	Carta de color del tomate.....	27
2	Interpretación de las coordenadas L*, a* y b*.....	28
3	Arreglo de los sustratos y los cultivares en el invernadero del Campo Experimental San Luis del INIFAP.....	39
4	Efecto de los tratamientos en el tiempo transcurrido a primera flor de plantas de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.....	65
5	Efecto del factor cultivar en los días a primera flor de tres híbridos de tomate bola cultivados en invernadero.....	66
6	Efecto del factor sustrato en los días a primera flor de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.....	67
7	Interacción S x C observada para días a primera flor en tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.....	68
8	Efecto de los tratamientos en la altura de plantas de tres cultivares de tomate bola en un ciclo de producción de cuatro meses y medio en invernadero.....	69
9	Efecto del factor cultivar en la altura de plantas de tomate bola en un ciclo de producción de cuatro meses y medio en invernadero.....	70
10	Efecto del factor sustrato en la altura de tres cultivares de tomate bola en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.....	71
11	Interacción S x C observada en la altura de plantas de tres cultivares de tomate bola, en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.....	72
12	Efecto del factor cultivar en el porcentaje de frutos de tomate bola por calibre comercial, producidos en invernadero.....	74
13	Efecto del factor sustrato en el porcentaje de frutos de tomate bola por calibre comercial, producidos en invernadero.....	75
14	Dinámica de la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola por efecto de los tratamientos en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.....	78
15	Efecto del factor cultivar en la firmeza del pericarpio de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.....	80
16	Dinámica del efecto de los cultivares en la firmeza del pericarpio de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.....	80
17	Efecto del factor sustrato en la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.....	81
18	Dinámica del efecto de los sustratos en la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola, en condiciones de invernadero.....	82
19	Interacción S x C de la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.....	83
20	Efecto de los tratamientos en el peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.....	85

Figura		Página
21	Efecto de los cultivares en la dinámica del peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	87
22	Efecto de los sustratos en la dinámica del peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	88
23	Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color L* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	91
24	Interacción S x C observada en la luminosidad de los frutos de tomate, en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.	94
25	Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color a* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	96
26	Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color b* en frutos de tomate en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	101
27	Representación gráfica de la interacción S x C observada en el índice de color b*, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.	102
28	Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color a*b* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	106
29	Representación gráfica de la Interacción S x C observada en el índice de color a*b*, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.	109
30	Efecto de los tratamientos en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	112
31	Efecto del factor cultivar en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	115
32	Efecto del factor sustrato en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	115
33	Efecto de los tratamientos en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.	119
34	Efecto de los cultivares en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	121
35	Efecto de los sustratos en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.	122

Figura		Página
36	Efecto de los tratamientos en la dinámica del pH en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	125
37	Efecto del factor cultivar en el pH de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero	127
38	Efecto del factor cultivar en la dinámica del pH de frutos de tres híbridos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero	128
39	Efecto del factor sustrato en el pH de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero	129
40	Efecto del factor sustrato en la dinámica del pH de frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	129
41	Dinámica por efecto de los tratamientos de los °Brix en frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	131
42	Efecto del factor cultivar en los °Brix de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero	133
43	Efecto del factor cultivar en la dinámica de los °Brix de frutos de tres híbridos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	133
44	Efecto del factor sustrato en los °Brix de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	134
45	Efecto del factor sustrato en la dinámica de los °Brix de frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero	135
46	Representación gráfica de la interacción S x C en los °Brix de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	136
47	Efecto del factor cultivar en la dinámica del rendimiento comercial por corte, y en el corte acumulado total, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	139
48	Efecto del factor sustrato en la dinámica del rendimiento comercial por corte, y en el corte acumulado total, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero	140

A.		Página
1	Niveles de referencia de macronutrientes en tejido vegetal en el cultivo del tomate	157
2	Niveles de referencia de micronutrientes en tejido vegetal en el cultivo del tomate	157
3	Dinámica nutricional del Nitrógeno total en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	158
4	Dinámica nutricional del Fósforo en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	158
5	Dinámica nutricional del Potasio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	159
6	Dinámica nutricional del Calcio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	159
7	Dinámica nutricional del Magnesio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	160
8	Dinámica nutricional del Azufre en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	160
9	Dinámica nutricional del Hierro en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	161
10	Dinámica nutricional del Zinc en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	161
11	Dinámica nutricional del Manganeso en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	162
12	Dinámica nutricional del Cobre en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante	162

En el invernadero hortícola del Campo Experimental San Luis del INIFAP, el 24 de septiembre de 2007, se inició la evaluación del efecto y la interacción de tres cultivares de tomate tipo bola y tres sustratos sobre el rendimiento y la calidad del fruto, para ello, se estableció un experimento factorial 3^2 utilizando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, siendo los factores sustratos y cultivares. Los niveles para el primer factor fueron Perlita, Fibra de coco y Tezonile, y para el segundo factor Duidee, Starbuck y Silvana, el ciclo de producción fue de cinco meses y medio, y se obtuvieron ocho cortes. El ANAVA para rendimiento comercial indicó que los factores actuaron de manera independiente, no habiendo diferencia significativa entre cultivares, pero sí una diferencia altamente significativa entre sustratos y en los tratamientos, el sustrato que más influyó en el incremento al rendimiento fue el Tezonile con 109 ton ha^{-1} , en tanto que el mejor tratamiento fue Tezonile-Starbuck con $112.33 \text{ ton ha}^{-1}$. Los parámetros de la calidad de los frutos evaluados fueron: calibre comercial, firmeza, peso específico, color a través de sistema CTELAB, carotenoides, pH y $^{\circ}\text{Brix}$. Se observó complejidad en los factores que determinan los índices de calidad de los frutos, ya que algunos de estos parámetros dependieron del factor sustrato, en tanto que otros del factor cultivar, otros de la interacción $S \times C$, pero en todos los casos resultó estadísticamente significativa la combinación de factores y niveles (tratamientos). Con base en los rendimientos e índices de calidad obtenidos en este trabajo, así como en la utilidad que se pretenda dar a los frutos de los cultivares evaluados, puede determinarse que combinación sustrato-cultivar utilizar al planear el establecimiento de un sistema de producción en invernadero.

SUMMARY

In the horticultural greenhouse of the San Luis Experimental Station of the INIFAP, on September 24, 2007, it began the evaluation of the effect and the interaction of three cultivars of tomato type ball and three substrates about the yield and the quality of the fruit, for it, a factorial experiment settled down 3^2 using an experimental design completely at random with four repetitions, being the factors substrates and cultivars. The levels for the first factor were Perlita, Coconut fiber and Tezontle, and for the second factor Dundee, Starbuck and Silvana, the production cycle was of five and a half months, and eight harvests were obtained. The ANAVA for commercial yield indicated that the factors behaved in an independent way, there not being significant difference among cultivars, but yes a highly significant difference among substrates and in the treatments, the substrate that more influenced in the increment to the yield was the tezontle with 109 ton ha^{-1} , whereas the best treatment were Tezontle-Starbuck with $112.33 \text{ ton ha}^{-1}$. The parameters of the quality of the evaluated fruits were: commercial caliber, firmness, specific weight, color through system CIELAB, carotenoids, pH and °Brix. Complexity in the factors was observed that determine the indices of quality of the fruits, some of these parameters depended on the factor substrate, whereas others of the factor to cultivar, others of the interaction S x C, but in all the cases it was statistically significant the combination of factors and levels (treatments). With base in the yields and obtained indices of quality in this work, as well as in the utility that is sought to give to the fruits of the evaluated cultivars, it can be determined that combination to substrate-cultivar to use when planning the establishment of a production system in greenhouse.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con datos de FAOSTAT (2009), el tomate se cultiva en 168 países, observándose durante el periodo 2001-2007 una estabilidad en la producción mundial con un promedio anual de 120.47 millones de toneladas concentrando los diez principales países productores el 72.05% del total de la producción mundial, coadyuvando con ello al desarrollo socio-económico mundial y a la mejora en la alimentación de los habitantes del planeta. Estos países son: China (24.67%), Estados Unidos (9.43%), Turquía (7.94%), India (6.76%), Egipto (6.01%), Italia (5.46%), Iran (3.58%), España (3.37%), Brasil (2.86%) y México (1.98%).

México ocupó el décimo lugar entre los países con mayor producción de tomate obteniendo una producción promedio anual de 2,381,585.57 toneladas, lo cual significa un 1.98% de la producción mundial. Sin embargo, al analizar el rendimiento, México obtuvo a nivel mundial un promedio anual de 28.53 ton ha⁻¹, situándose 19 ton ha⁻¹ por debajo del rendimiento medio mundial que fue de 47.6 ton ha⁻¹, si se compara el rendimiento de nuestro país con los Países Bajos que obtuvieron los mayores rendimientos, la diferencia es enorme, 435.27 ton ha⁻¹ por debajo de ellos. Al hacer la misma comparación, pero ahora con Somalia, que es el país que ha obtenido los más bajos rendimientos, la diferencia es de tan solo 27.17 ton ha⁻¹ por arriba, lo cual indica que el rendimiento promedio anual de nuestro país está más próximo al más bajo rendimiento mundial y muy lejano al más alto.

Los datos anteriores descubren que nuestro país es uno de los más importantes productores de tomate, pero también revela, que los rendimientos en nuestro país son bajos, situación que confirma la necesidad de introducir nuevas tecnologías a través de sistemas de producción sustentables.

Castellanos (2004) señala que el cultivo de tomate en nuestro país es la principal hortaliza por volumen de producción de acuerdo al promedio anual obtenido de 1,871,732.69 toneladas durante el periodo 1990-2002, superando a la papa (1,336,283.15) y al chile verde (1,015,119.00), también es la hortaliza con mayor volumen de exportación en México, esto con base al análisis de diez ciclos de cultivo

(93-94 al 02-03) cuyo pro
(279.5) y la sandía (232).

La información del SIAP (2009) muestra que actualmente en México se siembra el tomate en los 31 estados de su territorio. Al analizar el periodo 2001 - 2007, los seis estados que en promedio destinaron más hectáreas a la siembra del tomate fueron: Sinaloa (22,947.92), Michoacán (6,404.65), San Luis Potosí (6,144.73), Baja California (5,373.22), Morelos (3,150.67) y Baja California Sur (3,118.48). Estos estados presentaron un porcentaje máximo de superficie sembrada de 8.36% que correspondió a los Estados de San Luis Potosí y Baja California Sur, y un mínimo de 0.77% para Morelos, siendo el promedio para los seis estados de 4.24%. Estas cifras por una parte indican una gran oportunidad de desarrollo socioeconómico, dado el valor de la producción y la cantidad de empleos que se generan, según Valadez (1998) son 140 jornales ha^{-1} , y por otra parte, la necesidad de protección del cultivo, sobre todo en los Estados de Baja California Sur y San Luis Potosí.

Según Seta (2003), en México la producción de hortalizas en invernadero ha mostrado un incremento considerable en pocos años, pues en el 2002 se tenían establecidas 1,205 has de las cuales 830 eran de tomate y estaban en construcción 365 más. Para el 2009 se estima que habrá alrededor de 9,000 has de agricultura protegida, ya que esta agroindustria en los últimos cinco años ha mantenido un crecimiento anual del 30% (AMSPAC, 2008) siendo el tomate bola el cultivo que más superficie ocupa (49%) bajo estas condiciones (AMPHI, 2004).

El empleo de invernaderos en conjunto con sistemas hidropónicos permite reducir al mínimo las restricciones de clima, agua y nutrientes, logrando un eficiente control de plagas, enfermedades y malezas, por ello es importante la búsqueda de arquetipos que en óptimas densidades de población tengan alto potencial de rendimiento por unidad de superficie en ambiente no restrictivo.

En México y bajo condiciones de invernadero el tomate tiene un rendimiento promedio de 130 $ton\ ha^{-1}$ (Cook, 2007), con base en esta información y extrapolando a la zona Altiplano de S.L.P., puede decirse que este cultivo rinde 7.2 veces más que un sistema tradicional a cielo abierto y con riego por gravedad (18 $ton\ ha^{-1}$), 3.7

veces más que un sistema de fertirrigación (35 ton ha⁻¹) y 2.3 veces más que un sistema con fertirrigación y acolchado (57 ton ha⁻¹).

Con el crecimiento de la industria hortícola bajo condiciones protegidas se han ido perfeccionando los sistemas de producción y uno de los cambios que se han venido dando es el paso gradual del cultivo en suelo al sistema de cultivo sin suelo o en sustratos (Castellanos y Vargas, 2004).

Siller (2004) plantea que una de las más importantes decisiones de manejo que el agricultor tiene que hacer, es la selección del cultivar. Actualmente se cuenta con cultivares de tomate de hábito de crecimiento indeterminado y de alto rendimiento para invernadero (Nuez, 2001; SEDARJI, 2005). El incremento en el uso de cultivares de hábito indeterminado en invernaderos radica en que tienen un crecimiento indefinido y son adecuados para una recolección continua, ya que florecen y fructifican de forma regular y uniforme.

En el mercado de productos hortofrutícolas las exigencias son cada vez más altas, por esta razón es imprescindible que los productores estén conscientes de lo que representa el concepto de calidad, el no tomar en cuenta este aspecto, implica pocas posibilidades de sobrevivir en un mercado global de competencias.

Bajo el concepto de calidad se engloban un gran número de parámetros que en conjunto determinan que un fruto sea apto para el consumo, admitiéndose usualmente los parámetros: sabor, aroma, color, calibre, firmeza, sólidos solubles y acidez (Cajas *et al.*, 1993; citados por González *et al.*, 2004).

Considerando el papel protagónico de México en la producción mundial de tomate, y la sobresaliente contribución del Estado de San Luis Potosí en la producción nacional de la solanácea, nos enfrentamos a una disparidad de condiciones, ya que aun cuando el país es uno de los diez principales productores y exportadores, los rendimientos siguen siendo bajos, la siniestralidad del cultivo se presenta de manera recurrente, los sistemas de producción dominantes son de baja tecnología y el mercado exige la aplicación de índices de calidad. Este escenario plantea la necesidad de establecer

sistemas de producción de mediana a alta tecnología que coadyuven a disminuir la siniestralidad, e incrementen el rendimiento y la calidad de frutos de tomate.

Objetivos

Objetivo general

Determinar bajo condiciones de invernadero, el efecto e interacción de tres cultivares de tomate tipo bola de hábito indeterminado y tres sustratos sobre el rendimiento y la calidad del fruto.

Objetivos específicos

- 1) Evaluar el efecto de los sustratos sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate.
- 2) Evaluar el efecto de los cultivares sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate.
- 3) Evaluar la interacción de los sustratos y cultivares sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate.

Hipótesis

- 1) Los sustratos utilizados en los sistemas de producción de hidroponía cuentan con las características fisicoquímicas adecuadas para el desarrollo de los cultivos, por lo tanto, el uso de Perlita, Fibra de Coco y Tezontle contribuirá a incrementar el rendimiento y la calidad del fruto de tomate en invernadero.
- 2) Los cultivares comerciales utilizados en los sistemas de producción bajo invernadero, presentan potencial de producción alto y calidad en sus frutos, por lo tanto, el uso de los cultivares Dupdee, Starbuck y Silvana contribuirá a incrementar el rendimiento y la calidad del fruto de tomate en invernadero.

- 3) La interacción de sustratos y cultivares bajo condiciones de invernadero influye en el rendimiento y la calidad del fruto de tomate, por lo tanto, la interacción de sustratos y cultivares favorecerá el rendimiento y la calidad del fruto de tomate en invernadero.

Origen, Domesticación y Nomenclatura del Tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta área crecen espontáneamente las diversas especies del género (Esquinas-Alcazar y Nuez, 2001).

La evidencia histórica favorece a México como el centro más importante de domesticación del tomate, hecho ampliamente aceptado en el mundo científico, ya que la utilización de formas domesticadas en nuestro país, tiene bastante antigüedad, y sus frutos eran bien conocidos y empleados como alimento para las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México, antes de la llegada de los españoles (Gil, 2007).

En cuanto a la nomenclatura de la planta, según Maroto (1992), se deriva de los términos aztecas «tomatl», «xitomate» y «xitotomate». El vocablo tomate de acuerdo con Coromínas (1990) citado por Esquinas-Alcazar y Nuez (2001), procede del náhuatl *tomatl*, que se aplicaba genéricamente para plantas con frutos globosos o bayas, con muchas semillas y pulpa acuosa (Williams, 1990; Montes y Aguirre, 1992; citados por Esquinas-Alcazar y Nuez, 2001), los más grandes de ellos se llaman xitomate, así se describe en el libro "Historia de las plantas de Nueva España" (Hernández, 1790; citado por Esquinas-Alcazar y Nuez, 2001).

Descripción Botánica

Raíz: La planta de tomate generalmente posee una raíz principal bien definida, pero también presenta abundancia de raíces laterales de naturaleza fibrosa. El sistema radicular es robusto y puede crecer hasta una profundidad de 1.80 metros en el suelo. En los primeros 20 cm de la capa de suelo se concentra el 70% del total de raíces. Pero, bajo condiciones de cultivo su suelo se le confina en contenedores de diferente

volumen, geometría y disposición. Es común utilizar un volumen de 5 a 10 litros por planta (Gil, 2007).

Tallo. La planta de tomate es herbácea, perenne cultivada como anual, es ramificada, con crecimiento indeterminado o determinado por un racimo floral. El tallo es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al alcanzar un determinado número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento). Los tallos son pubescentes en toda su superficie. En las axilas de las hojas del tallo principal surgen los tallos secundarios que son eliminados mediante poda para una buena conformación de la planta. El desbrote debe ser oportuno, sobre todo el brote inmediato inferior al racimo, el cual surge con gran vigor (Berenguer, 2003; citado por Espinosa, 2004).

Hojas. Las hojas son sencillas, pecioladas de limbo muy hendido, parecen compuestas sin serlo, de folíolos lobulados, ovales y acuminados, con bordes dentados, de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés. Sobre el tallo las hojas surgen de modo alterno. Al igual que el tallo, también están recubiertas de pelos glandulares. Normalmente aparecen tres hojas por simpodio, es decir entre inflorescencias. Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor interceptación de la radiación. Por ello es importante que el emparrillado para el entutorado, quede simétricamente establecido y además para que no interfiera con las labores de manejo del cultivo (Muñoz, 2004).

Estructura floral. El tomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple, en la base de la planta o ramificado en la parte superior. Las flores son pequeñas, pedunculadas de color amarillo, formando corimbos axilares, el cáliz tiene cinco pétalos, corola soldada interiormente, con cinco pétalos que conforman un tubo pequeño, los cinco estambres están soldados, el estilo a veces sobresale de los estambres, el ovario contiene muchos óvulos. El número de flores depende del tipo de tomate. En tomates de grueso calibre el racimo tiene de 4 - 6 flores, en tomates de calibre mediano aumenta de 10 - 12 flores por inflorescencia y en los tomates tipo cereza o cherry no es extraño que se desarrollen hasta 100 flores por racimo (Berenguer, 2003).

Semilla: La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forman una yema apical, dos cotilodones, el hipocótilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es un tejido duro e impermeable. La germinación de las semillas ocurre de manera relativamente fácil (Muñoz, 2004).

Fruto: El fruto del tomate es una baya globosa, de color generalmente rojo en la maduración, aunque algunas variedades pueden presentar otras coloraciones, como amarillo, violeta, etc. El diámetro de los frutos varía entre 6 y 16 cm (Maroto, 1992).

Una vez que las flores han sido polinizadas, los frutos tardan en alcanzar la madurez en torno a los 38 días, esto depende de la variedad y de las condiciones ambientales. El crecimiento del fruto se ajusta a un modelo cuadrático; ejemplo $y = 0.0018x^2 - 0.2335x + 0.7959$, representando x los días después de la antesis (Gonzalez, 2004; citado por Muñoz, 2004).

Importancia del Tomate

Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50% de la producción en el mundo: la papa y el jitomate, lo cual nos indica el enorme valor que este último cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2007).

De acuerdo con Pérez *et al.* (1997) citados por Espinosa (2004), en México el tomate es una de las principales hortalizas de exportación.

El jitomate es la hortaliza número uno en consumo; por lo tanto el volumen de este producto es el más grande y el más importante en los diferentes mercados nacionales e internacionales. A nivel de Norte y Centroamérica, el consumo per cápita/año es alrededor de los 26.9 kg por persona, mientras que a nivel mundial es de 12.6 kg, en México 18 kg (Fundación Produce Oaxaca, A.C. 2007).

Las técnicas de producción son muy variables y en los últimos años ha tomado auge hacerlo bajo condiciones de invernadero e hidroponía, con el fin de obtener mayor rendimiento y calidad, razón por la cual los países desarrollados ven en esta forma de producción una alternativa económica para automatizar y programar su agricultura intensiva.

De acuerdo con Lara (2000), el cultivo sin suelo tiene dos apartados:

- a) La hidroponía líquida la cual no tiene un medio de soporte.
- b) La hidroponía en agregado que posee un medio de soporte sólido.

Así mismo es necesario especificar si se maneja un sistema abierto, en donde se pierden los drenados, o si el sistema es cerrado, en este la solución nutritiva excedente se recupera, regenera y recicla.

Uso de Invernaderos

La protección de los cultivos, principalmente las hortalizas se ha convertido en una necesidad imperiosa ante la imposibilidad de garantizar una producción en condiciones de intemperie, por ello se explica el acelerado crecimiento de la agricultura protegida, que se da como respuesta a la problemática del clima. Los datos de la AMPHI (2005) para el periodo de 1990 al 2003, indican que a nivel nacional, la producción en invernaderos tuvo una tasa de crecimiento de 111.5 ha año⁻¹. En el Cuadro 1 se presenta la superficie estimada en el año 2008 de agricultura protegida por Estado.

Cuadro 1. Superficie de agricultura protegida por Estado (AMHIPAC, 2008)

Estado	Invernadero	Con malla	Sup. total (has)
Sinaloa	850	1650	2500
B. California N.	120	1100	1220
B. California S.	400	600	1000
Sonora	250	740	990
Jalisco	900	0	900
San Luis Potosí	160	200	360
Puebla	240	50	300
Zacatecas	200	30	230
Guanajuato	200	0	200
Coahuila	170	25	195
Michoacán	140	0	140
Colima	100	0	100
Edo. de México	100	0	100

El concepto de invernadero presenta diversas variantes, sin embargo, muchos especialistas en el tema, coinciden en definir invernadero, como una estructura con cubierta transparente que presenta en su interior un ambiente adecuado para el cultivo de las plantas.

Para Rodríguez y Bravo (2007) un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas. Espinosa (2004) señala que los invernaderos son estructuras que tienen techo y paredes transparentes y en su interior se combinan: radiación solar, temperatura, humedad, evaporación y otros, factores climáticos que contribuyen a un desarrollo armónico de las plantas, en E.U.A., según Nelson (1978) el término invernadero se refiere a una estructura cubierta con un material transparente con la finalidad de admitir la luz para el crecimiento de las plantas, y además agrega, estas estructuras usualmente se calientan artificialmente y se diferencian de otras estructuras, en que ellas son suficientemente altas para permitir que una persona trabaje adentro.

De
son:

- Precocidad en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento,
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades,
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Para Jaramillo *et al.*, (2007), las principales desventajas de la producción bajo invernadero son:

- Alta inversión inicial.
- Requerimiento de personal especializado.
- Supervisión técnica permanente.

Además de los invernaderos, Bastida (2007) menciona que existen otras estructuras de menor tamaño, que se conocen como mini invernaderos y macro túneles, así como estructuras con una cubierta en el techo y los laterales con mallas anti-insectos o sin protección a las que se les llama cubiertas de plástico. Otras estructuras se protegen con mallas para disminuir la luminosidad o la temperatura, a las que se les llama casas sombría o casas de malla.

Uso de Sustratos

Evolución de los medios de cultivo

El medio de cultivo ha ido evolucionando desde los sustratos basados en suelo mineral hasta las actuales mezclas, con proporción mayoritaria de componentes orgánicos tipo turba, corteza de pino y similares (Ansorena, 1994).

El sustrato

El término sustrato se aplica en Horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991, Abad *et al.*, 1998; citados por Abad y Noguera, 2000).

Según Molina (2005) el 90% de los invernaderos que operan a nivel nacional utilizan sustratos.

Baixauli y Aguilar (2006), señalan las siguientes ventajas de los cultivos en sustrato:

- a) Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos, procedentes de residuos como paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc.
- b) Al emplear sustratos totalmente inertes, se favorece la ausencia de enfermedades típicas del suelo, siendo una buena alternativa para evitar el empleo de desinfectantes.

Caracterización de los sustratos

La caracterización de los sustratos es fundamental para el buen desarrollo de los cultivos, el éxito o fracaso del sistema de producción en sustratos depende en gran medida del conocimiento de sus propiedades y de su correcta interpretación para el buen manejo del cultivo.

Los sustratos presentan tres propiedades: físicas, químicas y biológicas.

- a) **Propiedades físicas.** La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial matricial (Abad y Noguera 2000).

Las principales propiedades físicas que se necesitan determinar en un sustrato para caracterizarlo son: densidad aparente, densidad real, granulometría, porosidad total, porosidad de aire, porosidad de agua, agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible (Díaz, 2004).

- b) Las propiedades químicas caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del sustrato reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica) (Abad y Noguera 2000).

Las principales propiedades químicas que se deben determinar en un sustrato son: pH, conductividad eléctrica, capacidad de amortiguamiento, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nutrientes disponibles en la solución, elementos pesados y compuestos fitotóxicos (Díaz, 2004).

- c) La **bioestabilidad** es la principal propiedad biológica y se refiere a la estabilidad de un sustrato orgánico frente a los organismos que lo pueden degradar. Esta propiedad nos permite saber si un sustrato orgánico permanece sin alterar o con poca alteración durante el ciclo de un cultivo. Para conocer si un material ha sufrido alteración biológica se cuantifica el contenido de materia orgánica inicial y después de un tiempo (varios meses), estimar el grado de degradación del material utilizado. El contenido de materia orgánica se determina por calcinación (Aizorena, 1994, citado por Díaz, 2004). Otra propiedad biológica importante es la **sanidad del sustrato**, esto es, si un sustrato es estéril o es necesario esterilizarlo. Algunos sustratos tienen patógenos para algunas especies de hortalizas.

Características de un buen sustrato

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se superen las siguientes características del sustrato (Raviv *et al.*, 1986; Abad, 1991, 1995, citados por Abad y Noguera, 2000).

Propiedades físicas:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.*
- Suficiente suministro de aire.*
- Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones antes mencionadas.
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad total.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón) del sustrato.

Propiedades físico-químicas:

- Baja capacidad de intercambio catiónico.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Salinidad reducida*.
- pH ligeramente ácido y moderada capacidad tampón*.
- Mínima velocidad de descomposición.

Otras propiedades:

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos, otros patógenos, y sustancias fitotóxicas*.
- Reproducibilidad y disponibilidad.
- Bajo costo.
- Fácil de preparar y manejar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistente a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

Las propiedades señaladas con un asterisco (*) son las más limitantes del crecimiento de las plantas

Clasificación de los sustratos

De acuerdo con Abad y Noguera (2009), existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

Materiales orgánicos

- a) De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).
- b) De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).
- c) Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. Muchos materiales de este grupo deben someterse a un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarilla de arroz, estiércoles, cortezas de árboles, serrín, fibra de madera, fibra de coco, residuos del corcho, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

Materiales inorgánicos (minerales)

- a) De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).
- b) Transformados o tratados industrialmente. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, y a veces químicos - más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, etc.).

- c) Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, ladrillo molido, etc.)

Caracterización de la fibra de coco

A partir de los años ochenta se produce una diversificación de los sustratos apareciendo residuos y subproductos de diferentes actividades. En esta fase aparece la fibra de coco como subproducto industrial de origen tropical, teniendo una gran potencialidad para ser utilizado como sustrato hortícola, alternativo o sustitutivo de la turba *Sphagnum* y en el cultivo sin suelo (Petit, 2000).

Del mesocarpio del fruto del coco (drupa) es de donde se obtiene la fibra. Como productos residuales de la obtención de fibra de coco se obtienen fibras cortas y el polvo de coco. Lo que conocemos como fibra de coco como sustrato hortícola verdaderamente no es fibra de coco, sino una mezcla de fibras cortas (coconut fiber) y polvo de coco (coconut pith) (Petit, 2000).

La mayor parte de la fibra de coco procede de Indonesia, pero en el futuro se podrían traer de América del Sur y México. La única precaución que hay que tener es comprobar su contenido de sal (Resh, 2001).

Dado que nuestro país es uno de los principales países productores de coco (*Cocos nucifera*), la producción de este sustrato y su utilización en la producción hortícola presenta un gran potencial agroindustrial.

Castellanos y Vargas (2004) mencionan que es un sustrato muy prometedor para la horticultura protegida en México, dado su bajo costo, su facilidad de manejo, su sanidad y la excelente respuesta agronómica que ha mostrado en los cultivos en que se ha evaluado. En México, prácticamente no hay estudios formales sobre su caracterización detallada.

A continuación se presentan dos cuadros, uno con los principales países productores de nuez de coco (*Cocos nucifera*), y otro con las propiedades físicas del sustrato fibra de coco.

Cuadro 2. Principales países productores de coco en el mundo (FAO/STAT, 2009).

<i>País</i>	<i>Producción</i>	
	<i>Miles de toneladas</i>	<i>% respecto a la Producción mundial</i>
Indonesia	16.977.50	30.37
Filipinas	14.932.17	26.71
India	9.746.97	17.43
Brasil	2.996.26	5.36
Tailandia	1.879.41	3.36
Sri-Lanka	1.436.83	2.57
Vietnam	970.38	1.74
Papua/Nueva Guinea	659.75	1.18
México	655.38	1.17
Malasia	591.00	1.06

Nota: Los datos corresponden al promedio del periodo 2004-2007.

Cuadro 3. Características físicas de la fibra de coco utilizada como sustrato hortícola, valores medios obtenidos con muestras recogidas de todo el mundo (Petit, 2000).

<i>Características</i>	<i>Intervalo de variación</i>	<i>Valor mediano</i>	<i>Media</i>	<i>Nivel óptimo</i>
Densidad aparente $g\ cm^{-3}$	0.026 - 0.069	0.063	0.056	< 0.4
Espacio Poroso Total (% vol)	34.15 - 98.18	85.70	96.22	> 85
Agua fácilmente disponible (% vol)	24.17 - 89.35	45.3	53.52	25 - 30
Agua de reserva (% vol)	0.16 - 7.54	3.02	3.4	4 a 16
Agua total disponible (% vol)	0.90 - 40.93	21.62	20.46	24 - 48
Capacidad de retención de agua ($g\ (100\ g^{-1}\ materia\ seca)$)	520 - 1118	891.1	848	700 - 1400
Compacción (% vol)	3 a 24	13	12.4	< 20

- Baja densidad aparente: el residuo de la fibra de coco es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.072 g cm^{-3} , siendo una ventaja para el transporte y facilita la manipulación.
- Una buena repartición de las fases líquida y gaseosa a 10 cm de tensión.
- Un nivel de materia orgánica y una relación C/N elevadas.
- Agua fácilmente disponible: El valor de agua fácilmente disponible de la fibra de coco es del 22 % vol., situándose entre el valor óptimo recomendable.
- Agua de reserva: El valor para el agua de reserva de la fibra de coco es del 4 % vol., estando el valor óptimo entre 4 – 10 % vol.
- Capacidad de aireación: El valor de la fibra de coco es de 58 % vol. En este caso la profundidad del contenedor tiene un efecto marcado sobre el contenido de aire del sustrato.

Propiedades químicas y físico-químicas:

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): En el caso de una fertirrigación intermitente el valor óptimo de CIC es de 20 meq/100 g. La fibra de coco tiene una CIC de 98 meq/100 g.
- El pH (extracto saturado) de la fibra de coco se sitúa alrededor de 5.5 siendo un nivel óptimo para la mayoría de las plantas cultivadas.
- La CE del ladrillo de COCOPEAT está comprendida entre 0.7 y 1.5 dS m^{-1} .
- Los altos niveles de K presentes en la fibra de coco son de consideración interesante, y realmente pueden llegar a producir más beneficio que detrimento al crecimiento de las plantas.

La fibra de coco se comercializa en México en varios sitios, pero destaca la región de Colima, y en particular la región de Armeria, donde se producen grandes cantidades de este sustrato. Esta se comercializa lavada, en sacos de cultivo de 1.2 m de largo por 30 cm de diámetro y a un precio de \$ 16.00 pesos/saco o bote de 30 L. Teniendo en cuenta que se usan 125,000 Lbs de este sustrato, si se compra en esta presentación se requieren 4,166 sacos, lo que representa un valor de \$ 66,660.

pesos/ha, más \$ 10,000 pesos de transporte de Colima a Celaya, por tratarse de un material de muy baja densidad. Esto significa un costo de este sustrato del orden de \$ 7.73 pesos m² de invernadero, un costo muy elevado, prácticamente igual al de la lana de roca, por lo que esta no es la presentación más recomendable (Castellanos y Vargas, 2004).

Es más conveniente comprar la fibra de coco en pacas, las cuales vienen en presentaciones de 68 x 44 x 38 cm con un peso de 38 kg y una humedad de 30% y de 60 x 45 x 37 cm, con un peso de 25 kg y una humedad del 34%, ambas presentaciones vienen compactadas 2:1, similar al peat moss (turba). Estas se descompactan y se recupera su volumen original rindiendo 300 y 214 L/paca, respectivamente. Con este material se llenan los sacos de cultivo que se mandan hacer con polietileno bicolor, negro por dentro y blanco por fuera. Si se adquiere esta presentación, teniendo en cuenta que hay que comprar el saco, considerar el costo del llenado y empacado, esta tiene un costo total aproximado de \$ 3.51 y \$ 3.89 pesos m² de invernadero, respectivamente. Por otro lado se debe considerar que ha estos sacos se hace el lavado previo a la plantación mediante el uso de agua sola, este debe ser hasta que el lixiviado tenga una conductividad eléctrica menor a 2 dS/m (Castellanos y Vargas, 2004).

Caracterización de tezontle

Al igual que la fibra de coco, en México el tezontle es un material fácil de conseguir, por lo que su utilización como sustrato en cultivos hidropónicos representa un gran potencial para la horticultura.

Flores *et al.* (2007) señalan que el tezontle o escoria volcánica, procede de las erupciones volcánicas y está constituido por silicatos de aluminio, formados por fragmentos y partículas de lava pofosa y poco pesada. Es un material barato que se encuentra en grandes depósitos presentes en todos aquellos lugares donde existen volcanes. En México abundan principalmente en el eje neo volcánico, se emplea para el balastre de caminos de terracería y en la construcción. El tezontle puede ser de color rojo, negro o amarillo, los tres son buenos para emplearse como sustratos en la

hidroponía. Presentan partículas de varios tamaños, mismas que pueden separarse con un tamaño de malla apropiado, para obtener diferentes tamaños de arena y grava.

Castellanos y Vargas (2004) indican que el tezontle es uno de los sustratos más usados en México en los cultivos sin suelo, pero uno de los menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas. La forma en que se ha venido usando es simplemente tamizándolo por una malla de media a una pulgada y todo lo que pase por ella se usa directamente en el llenado de las bolsas. La cantidad de sustrato que se usa de tezontle es de 7.5 a 15 L por planta. Su costo de adquisición es bajo, del orden de \$100 pesos el metro cúbico, de forma que si en una hectárea se requieren 187.5 m³ o sea \$18,750 pesos en caso de usar 7.5 L/planta y dos plantas por bolsa, por otro lado si se utiliza 15 L/planta, es decir una planta por bolsa el costo se eleva a \$37,500, pero esto garantiza que la reserva de agua en el contenedor sea mayor, previendo el estrés en el cultivo en caso de alguna falla en el programa de riego.

En el Cuadro 4 se presentan las principales características físicas y químicas del tezontle.

Cuadro 4. Principales características físicas y químicas del tezontle (Flores *et al.*, 2007).

Característica y unidad de medida	1 año (a)	2 años (b)
Densidad aparente (g/cm ³)	0.682	0.77
Densidad real (g/cm ³)	2.68	2.65
Espesor poroso total (volumen en %)	74.24	70.94
Capacidad de absorción de agua (g agua/100 g de muestra seca)	26.7%	
Materia orgánica (volumen en %)	23.7%	
Aire (volumen en %)	58.68	65.45
Agua fácilmente accesible (volumen en %)	5.42	6.55
Agua de reserva (volumen %)	7.75	3.53
Agua difícilmente accesible (volumen en %)	7.8%	14.33
pH		4.6
Conductividad eléctrica		0.92

Caracterización de la perlita

De acuerdo con Flores *et al.* (2007) en México existen dos plantas productoras de agrolita (perlita), por lo que presenta los mismos problemas de la vermiculita para su obtención (existe poca producción), así como también la necesidad de realizar mezclas con otros materiales.

La perlita proviene de rocas volcánicas vítreas (grupo de las reolitas), las cuales se han formado por enfriamiento rápido, constituyendo un material amebico, que contiene un 2% - 5% de agua combinada. En su tratamiento industrial, este material se fragmenta en partículas de pequeño tamaño, se precalienta a 300 - 400 °C y se deposita en hornos a 1000 - 1100 °C durante un corto periodo de tiempo (5 minutos). El agua combinada se evapora rápidamente, expandiéndose el producto (hasta 20 veces su volumen inicial) para formar un material particulado (agregados ligeros) con una densidad aproximada de 125 kg·m⁻³, cuando la roca original pesaba 1500 kg·m⁻³ (Moinereau *et al.*, 1987; Bunt, 1988; FAO, 1990, citados por Abad y Noguera, 2000).

Abad y Noguera (2000) mencionan que la perlita es un silicato aluminico, que de acuerdo Bunt (1988), citado por Abad y Noguera (2000) es inerte y no se descompone biológica ni químicamente. Esta compuesta principalmente por silicio y aluminio, y desde un punto de vista práctico, se puede considerar desprovista de nutrientes. Sin embargo, la utilización de soluciones nutritivas medianamente ácidas, en todo caso con pH < 5, puede originar problemas de fitotoxicidad, debido a una excesiva solubilización del aluminio (Abad, 1995, citado por Abad y Noguera, 2000). Su pH es neutro o ligeramente alcalino (7 - 7.5) y su salinidad es muy baja. Exhibe una bajísima capacidad de intercambio catiónico (1.5 - 2 me·100 g) y una capacidad tampón para el pH también muy limitada (Moinereau *et al.*, 1987, citado por Abad y Noguera, 2000).

Una característica de la perlita es que su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie. Debido a una estructura celular cerrada, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas o en los poros existentes entre dichas

partículas, siendo liberada a muy bajas tensiones. En consecuencia, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice como componente de aireación en los sustratos de cultivo (Bunt, 1988, citado por Abad y Noguera, 2000).

Se comercializan distintos tipos de perlita, que se diferencian en la distribución del tamaño de partícula y en su densidad, entre los que se encuentran el tipo B-6 constituido por material fino de 0 - 1.5 mm de diámetro y baja densidad, de 0.05 a 0.06 g/cm³, el tipo B-9 constituido por fracciones del mismo tamaño, pero con densidades de 0.08 a 0.09 g/cm³, el tipo B-10, constituido por fracciones de 0 a 3 mm de diámetro y densidades de 0.10 a 0.12 g/cm³, el tipo B-12, que consiste de un material con una granulometría de 0 - 5 mm de diámetro y con una densidad aparente de 0.10 a 0.12 g/cm³, siendo este el material que más se usa en la horticultura y finalmente está el tipo A-13, constituido de la fracción gruesa con diámetros de partícula de 3 - 5 mm y con una densidad aparente de 0.10 a 0.12 g/cm³ (Marfá *et al.*, 1993, Martínez *et al.*, 1993, citados por Castellanos y Vargas, 2004).

La perlita B-12, es la más usada en la producción hortícola en invernadero, presenta un espacio poroso total en el orden de 85 %, una capacidad de aireación de 30 % con 25 % de agua fácilmente disponible y un 7 % de agua de reserva. En España se comercializa en sacos de 1.20 m³ de largo con contenidos que van de 30 a 40 L. En estos sacos se colocan de 5 a 6 plantas o bien tres plantas con dos tallos cada una para conseguir 6 tallos por saco de cultivo. Es decir que se usan alrededor de 5 - 6 litros por saco de cultivo. Teniendo en cuenta que en una hectárea de invernadero se siembran 25000 plantas entonces se requieren de 125 a 150 m³ de perlita/ha. El precio de este sustrato en México, comprado en grandes volúmenes es de \$ 480 pesos/m³. A este precio habría que agregarle el transporte, el costo de los sacos y el llenado y sellado de los mismos. Es decir que el costo del sustrato en una hectárea asciende a \$ 7.79 pesos/m² (Castellanos y Vargas, 2004).

Uso de Cultivares

La producción en invernadero representa gran atractivo, especialmente para aquellos cultivos destinados preferentemente a los mercados internacionales que exigen calidad y pagan precios más elevados (Jasso *et al.*, 2009), como es el caso de algunos cultivares de tomate.

Aunque existen muchos cultivares disponibles, solamente los más adaptables tendrían aceptabilidad en el mercado y serán suficientemente productivos durante los períodos de estrés (Siller, 2004).

Resh (2001), menciona que se han seleccionado variedades específicas de tomate para que produzcan mayores cosechas en cultivo en invernadero que las variedades cultivadas en pleno campo en las mismas condiciones. Estas variedades de tomate de invernadero no pueden tolerar las fluctuaciones diarias de temperatura de los cultivos al aire libre, por consiguiente su uso está restringido al cultivo en invernadero. Sin embargo, dadas las condiciones óptimas de crecimiento de los cultivos hidropónicos en invernadero, sobrepasarán en rendimiento a las variedades de campo. Estos productos son guiados para crecer verticalmente en los invernaderos y no extenderse por el suelo como las variedades de campo. Los tomates son indeterminados (enfuturado), es decir, crecen constantemente no como tomates determinados o de tipo matorral, como lo hacen comúnmente los tomates cultivados en el campo para obtener cosechas individuales. Estos tomates de invernadero se cosechan durante toda la estación, que es generalmente un período de cosecha de un año, mientras que en los cultivos de campo el ciclo normal de cosecha sería de tres a cuatro cosechas individuales en las áreas meridionales de Florida, Arizona, California y México.

Características de cultivares

De acuerdo con León (2001), hay disponibles en el mercado una gran variedad de cultivares de tomate para su producción en invernadero. De forma tal, que para seleccionar el más apropiado al sistema específico, se deben considerar los más de los siguientes criterios: tamaño, forma y uniformidad del fruto, color, internudos cortos, cáliz vigoroso de color verde, buen cierre apical, resistencia y tolerancia a

enfermedades, tolerancia a desórdenes fisiológicos, buen cuajado de frutos bajo amplio rango de condiciones ambientales, buen rendimiento y demanda en el mercado.

Por su parte Siller (2004) considera, que un cultivar adecuado debería tener diversas características, entre las que se incluyen la producción, la resistencia a las enfermedades, la calidad hortícola, adaptabilidad para las condiciones ambientales en donde se cultiva, un mercado aceptable y una buena vida de anaquel. E indica también, que es importante conocer la susceptibilidad de los cultivares a los desórdenes fisiológicos como hombros verde, cara de gato, rajaduras, maduración irregular (blotchy ripening), pared gris, y pudrición apical (blossom end rot), entre otros.

Dentro de las acciones que el productor debe llevar a cabo para hacer una buena selección, León (2001) recomienda, recabar información del proveedor sobre las prácticas de cultivo y necesidades del cultivar específico. De ser posible, obtener información de su comportamiento en la localidad, ya que con frecuencia los datos proporcionados deben ser interpolados con los de regiones y tipos de invernaderos de otros países. Es recomendable llevar a cabo en cada ciclo de cultivo ensayos con diversos cultivares, para observar su comportamiento bajo los métodos, equipamiento y sistemas disponibles. Una buena práctica es registrar los estados fenológicos en relación a las unidades calor dentro del invernadero.

Uno de los aspectos básicos a considerar en un mercado cada vez más competitivo y exigente, es la calidad del fruto. Castilla (2001) mencionan que existe una amplia gama de variedades e híbridos disponibles con posibilidad de elección de frutos:

- De diversos tamaños (ceresa a beef).
- De número de lóculos (de 2 a más de 5).
- Lisos o surcados.
- Uniformidad de color.
- Duración de almacenamiento.
- Resistencia al transporte.

Gil (2007) expone la siguiente clasificación de las plantas de tomate con base a los hábitos de crecimiento:

- a) El tomate de hábito de crecimiento determinado, desarrolla la primera inflorescencia y un nuevo punto de crecimiento en la forma normal, pero también hay una tendencia en las subsiguientes ramas laterales, a terminar en una estructura floral, en donde no habrá el desarrollo de un nuevo punto de crecimiento. En estas plantas, el desarrollo vegetativo es limitado y se detiene para finalizar en un racimo floral que produce la forma característica de hábito arbustivo.
- b) El hábito indeterminado se usa para describir el tipo de crecimiento simpodico en donde una yema lateral está siempre disponible a continuar el desarrollo vegetativo. Con esta disposición el crecimiento vegetativo es continuo, así que esta clase de plantas bajo condiciones ideales de humedad y temperatura crecerían en forma indefinida, manifestándose como plantas perennes.

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2006), también es importante seleccionar el material para una región específica, de acuerdo con el tiempo de maduración. En la actualidad se reconocen tres tiempos de maduración (días después del trasplante)

- Precoz: 65 – 80 días
- Intermedio: 75 – 90 días
- Tardío: 85 – 100 días

Calidad de los Frutos de los Cultivares

De acuerdo con Cuartero (1995), Anastasio y Abad (1997), González (1998), citados por González *et al.* (2004) existen dos parámetros de calidad de los productos hortícolas comestibles:

1) **Parámetros externos.** Son aquellos que el consumidor valora antes de realizar la compra. A continuación se mencionan:

- Color.
- Forma.
- Tamaño.
- Consistencia.
- Estado de madurez.
- Presentación.

2) **Parámetros internos.** Son evaluados por el consumidor posterior a la compra, ya sea al consumir los productos o con posterioridad. Ejemplos son:

- Aroma.
- Sabor.
- Textura.
- Efectos sanitarios.
- Efectos nutritivos.

Parámetros de calidad externa

Color

El color de los frutos influye más en el consumidor a la hora de comprar. Nos puede indicar en cierta manera los factores de calidad, tales como el sabor y el aroma, por lo tanto el color es el principal parámetro de calidad total. El color en el tomate es debido a los carotenos. El licopeno es el principal carotenoide del tomate y comprende el 83% de los pigmentos totales presentes, los carotenos constituyen el 3-7% del total de carotenos contenidos en el fruto (Thakur *et al.*, 1996; citados por González *et al.*, 2004).

De acuerdo con Wills *et al.* (1998), en la valoración del grado de madurez del tomate para el mercado en fresco, destinado al consumo de mesa, se recurre tanto a la desaparición del color verde como al desarrollo de una coloración roja, ambos

criterios figuran en las cartas de color utilizadas para juzgar el grado de madurez (Figura 1).

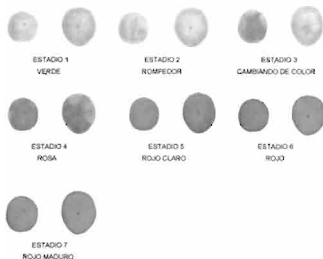


Figura 1. Carta de color del tomate (McGlasson, Beatie and Kavanagh, 1985; citados por Wills *et al.*, 1998)

El color se puede determinar objetivamente, mediante el empleo de algunos de los numerosos tipos de espectrofotómetros de reflectancia o transmitancia existentes (Wills *et al.*, 1998).

Por su parte, el CIE (Comisión internacional de la Iluminación) desarrolló un sistema basado en una fuente de iluminación estándar y un observador estándar, sobre el que se construyó un sistema tricromático basado en la percepción del ojo humano: rojo, verde y azul, y tres parámetros: L^* = luminosidad, a^* = rojo a verde; b^* = amarillo a azul. Con el espacio de color CIELAB es posible describir cualquier color. Por otra

parte, existen dos magnitudes psicofísicas, el tono (h^*) y el croma (C^*), calculados a través de las fórmulas matemáticas a partir de a^* y b^* (Badui, 2006).

En la Figura 2 pueden apreciarse los parámetros L^* , a^* y b^* .

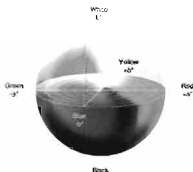


Figura 2. Interpretación de las coordenadas L^* , a^* y b^* .

Forma

La forma es un criterio que con frecuencia permite distinguir entre diversos cultivares de una fruta. El consumidor exige, con frecuencia, que el producto tenga una determinada forma y rechaza los ejemplares que no la presentan. La forma constituye, con frecuencia, un problema en los programas de selección. Un nuevo cultivar que proporcione un producto de una vida útil de almacén más larga y mejor calidad organoléptica, será difícilmente aceptado en el mercado, si su forma es anómala, su aceptación exigirá reeducar al consumidor, a través de las oportunas campañas de publicidad (Wills *et al.*, 1998).

En el caso de los frutos de tomate, la forma que adquieran dependerá de la variedad, existiendo básicamente dos tipos: el tomate tipo bola (fruto redondo o globoso) y el

tomate tipo saladette o roma (fruto alargado), el primero generalmente alcanza un mayor volumen que el segundo.

Tamaño o calibre

El tamaño constituye un importante criterio o atributo de calidad, que puede apreciarse objetivamente, mediante la determinación de la circunferencia o el diámetro, la longitud, la anchura, el peso o el volumen de las piezas. Muchas frutas se clasifican por tamaño, y se envasan juntos los ejemplares de similar dimensión, lo que facilita la venta en los establecimientos al por menor (Wills *et al.*, 1998).

Para los tomates de invernadero, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2007) aplica los estándares para grados de tomates de invernadero, según este estándar, en el tomate *bola* existen cuatro categorías por tamaño,

- "Small" (Pequeño) 2 - 4.32 to 2 - 9.32 (54 mm a 57.9 mm)
- "Medium" (Mediano) 2 - 8.32 to 2 - 17.32 (57.15 mm a 64.29 mm)
- "Large" (Grande) 2 - 16.32 to 2 - 25.32 (63.5 mm a 70.64 mm)
- "Extra large" (Extra grande) 2 - 24.32 and larger (69.85 mm y más grandes)

Consistencia

La consistencia del fruto hace referencia a la solidez o firmeza del fruto. La firmeza es un parámetro que mide la resistencia que oponen los tejidos de los frutos a la penetración y es una de las técnicas más utilizadas para controlar la maduración de las frutas, debido a la correlación que existe entre el grado de dureza del mesocarpio y el estado de madurez de los frutos. Según Riquelme (1995) citado por Gonzalez *et al.* (2004), éste es un factor importante ya que los consumidores desean que los tomates permanezcan consistentes al alcanzar la coloración de consumo.

A medida que va alcanzando su madurez fisiológica y organoléptica, la fruta se va ablandando. Este ablandamiento puede valorarse subjetivamente, presionando con el dedo pulgar, pero también puede medirse objetivamente, obteniendo una expresión

numérica de la consistencia mediante un penetrómetro. Estos instrumentos miden la resistencia a la penetración de un embolo, de diametro estándar, a lo largo también de un trayecto estandarizado (Wills *et al.*, 1998).

Los penetrómetros ordinariamente utilizados son el Magness-Taylor, el UC Fruit Firmness tester y, el más pequeño y cómodo, penetrómetro Effegi. Los distintos penetrómetros, relativamente baratos, no dan valores numéricos necesariamente idénticos al utilizarlos sobre un mismo producto, pero los valores obtenidos con cada uno de ellos son reproducibles y sirven con fines comparativos. Cuando se emitan informes sobre los valores recogidos, o cuando se intente establecer estándares, es preciso especificar el instrumento con el que se efectúan las determinaciones (Wills *et al.*, 1998).

La pérdida de la firmeza es la resultante de la acción de tres enzimas principales: celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa (Tucker *et al.*, 1980), siendo esta última la que mejor se correlaciona con el ablandamiento, ya que su concentración se incrementa durante la maduración (Gómez y Camelo, 2002). Esta enzima se sintetiza de nuevo, proceso que requiere de la presencia de oxígeno y que a su vez es estimulado por el etileno (Abeles *et al.*, 1992).

Es necesario enfatizar en la importancia que tiene la consistencia del fruto, sobretudo al momento de evaluar la calidad de diversos cultivares, ya que la firmeza de los frutos representa la resistencia al manipuleo y al transporte.

Estado de madurez

La madurez es un componente integral de la calidad, especialmente en el contexto de la madurez comercial. Puede distinguirse claramente entre madurez fisiológica y madurez comercial u hortícola. La primera es un determinado estado de la vida de la planta, o un órgano de la misma, y la última hace referencia al momento adecuado de proceder a la recolección de un producto destinado a un fin concreto, al objeto de que cumpla las exigencias del mercado. Los términos inmaduro, óptimamente maduro y excesivamente maduro hay que referirlos a las exigencias comerciales. Así, pues, es preciso conocerlas en términos fisiológicos, especialmente en lo que hace referencia

a su vida de almacén y a la calidad alcanzada tras la madurez organoléptica (Wills *et al.*, 1998).

Por maduración organoléptica se entiende aquel proceso por el que una fruta alcanza su calidad comestible óptima. Antes de alcanzar la madurez organoléptica, se dice que la fruta está verde, cuando ha sobrepasado ese estadio se dice que está "pasada". Sin embargo, estos tres estados no pueden definirse fisiológicamente de un modo claro, porque representan juicios subjetivos, y por lo tanto variables con los consumidores. La calidad organoléptica potencial viene determinada por diversos factores, entre los que alcanza máxima relevancia el estadio del desarrollo en que se procedió a su recolección. Algunas frutas, como las nectarinas, no alcanzan propiedades organolépticas si se cosechan inmaduras, pero otras como el plátano, pueden madurar satisfactoriamente tras la recolección, en diversos grados de madurez fisiológica (Wills *et al.*, 1998).

El aspecto anterior hace referencia al patrón respiratorio de los frutos, en el caso de la nectarina se denomina patrón no climatérico, en el caso del plátano patrón climatérico, a este último pertenece el tomate.

Presentación

La calidad de un producto después de haber sido cosechado, ya no se puede incrementar, pero se puede conservar y resaltar a través del manejo postcosecha, proceso que implica varias prácticas, entre las que sobresalen, la selección, sanidad y empaquetado, aspectos que hoy en día son fundamentales para mantener un producto en el mercado, e incluso ir en busca de nuevos mercados. El empaque sin duda alguna es un gran atractivo visual para el consumidor, pero además previene y reduce el daño a los frutos, proporciona ventilación, reduce las pérdidas de agua y ofrece información sobre el producto para su rastreabilidad.

Condición y defectos

Entre los atributos de calidad más importantes se encuentran el grado de frescura y el grado de madurez o envejecimiento, así como la cuantía o intensidad del dano

mecánico recibido y la incidencia de enfermedades o infestaciones. Así pues el aspecto externo es un determinante fundamental de la calidad, por ser con frecuencia el único criterio de que el consumidor se sirve para juzgarla (Wills *et al.*, 1998).

De acuerdo con León (2001), cuando los frutos de tomate presentan problemas causados por (inadecuadas condiciones) del medio ambiente, fallas en la nutrición, o una incorrecta aplicación del riego, se hace referencia a desórdenes fisiológicos como: pudrición apical (deficiencia de calcio, estrés de agua, elevada salinidad, desbalance de la solución y condiciones ambientales desfavorables); rajaduras del fruto (temperatura elevada del fruto, cambios bruscos en la humedad suministrada a las plantas); hombros verdes, quemaduras de sol y frutos color naranja (todos estos desórdenes están asociados a altas temperaturas o gran intensidad de luz); pared gris (baja intensidad de luz, bajas temperaturas, alta temperatura en el medio ambiente y en el suelo, alto nitrógeno y bajo potasio, compactación del medio de cultivo); cara de gato (daños en el pistilo o el ovario, factores genéticos, temperaturas bajas, cielo nublado, altas temperaturas durante la polinización); frutos bofes (mala polinización, baja luminosidad, altas o bajas temperaturas del aire, grandes diferencias de temperatura del día y la noche).

En gran medida la condición y defectos de los frutos se deben a un mal manejo, sin embargo, en algunas ocasiones son producto del factor genético, razón por la cual es importante comprar semilla certificada que garantice entre otros aspectos, la pureza genética del cultivar.

Parámetros de calidad interna

Flavor

El flavor engloba dos componentes: el sabor y el aroma. El sabor es percibido por la lengua, las cuatro sensaciones gustativas fundamentales son los sabores dulce, salado, agrio y amargo, cada uno de los cuales es recibido por una determinada zona de la lengua. El sabor de las frutas y hortalizas suele ser una mezcla, resultado de un determinado equilibrio de sensaciones dulces y agrias, de ordinario con un fondo

ligeramente amargo, debido a los taninos. El aroma se percibe en virtud del estímulo de los receptores olfativos por compuestos orgánicos volátiles (Wills *et al.*, 1998).

El aroma como característica más o menos subjetiva, es un parámetro de calidad que está afectado tanto por las prácticas agrícolas, como por los tratamientos de postcosecha y el control genético (cultivar) (González *et al.*, 2004).

De acuerdo con González *et al.* (2004), se pueden señalar dos grandes grupos de compuestos que determinan el sabor del tomate:

- 1) Azúcares y ácidos. Debe haber una relación equilibrada entre las concentraciones de azúcares y ácidos para que el sabor sea agradable.
- 2) Compuestos aromáticos. A pesar de su baja concentración, son detectados por los órganos gustativo y olfativo, debido a su carácter volátil. Se han identificado más de 400 sustancias de bajo punto de ebullición que pueden ser componentes de lo que entendemos como aroma del tomate.

Textura

El término *textura* hace referencia a la sensación global que un alimento despierta en la boca del consumidor. Se trata de un complejo conjunto de sensaciones percibidas por los labios, la lengua, las paredes de la boca, los dientes y aún los oídos. Cada uno de las áreas de la boca es sensible a pequeñas diferencias de presión y responde a diferentes atributos del producto. Los labios valoran el tipo de superficie que se les expone, de modo que pueden distinguir entre una superficie lisa y otra provista de vollosidades, los dientes valoran la rigidez de la estructura, perciben las presiones precisas para desmenuzar el alimento y cómo cede éste a la presión aplicada. La lengua y las paredes de la boca son sensibles al tipo de partículas generadas cuando el alimento es desintegrado por los dientes, reconociendo si el producto triturado es blando y pastoso, o si contiene granos y partículas, así como la mayor o menor cantidad de jugo liberada. Los oídos perciben los sonidos producidos durante la masticación. El efecto acumulativo de estas respuestas crea la impresión global de *textura* o "sensación bucal" del producto (Wills *et al.*, 1998).

Para el tomate de industria, el parámetro económicamente más importante es el contenido en sólidos solubles totales (Grierson y Kader, 1986, Young *et al.*, 1993, citados por González *et al.*, 2004).

Los azúcares solubles fructosa y glucosa (50%) y los ácidos orgánicos cítrico y málico (13%) son los componentes mayoritarios de los sólidos solubles y de sus concentraciones dependen el aroma y el sabor (Grierson y Kader, 1986, Ho y Hewitt, 1986, Eshed y Zamir, 1994, citados por González *et al.*, 2004).

Cuando las frutas maduran, la concentración de sólidos en el jugo, que en su mayor parte es de azúcares cambia. La concentración de los sólidos solubles en el jugo puede ser medido en un refractómetro o un hidrómetro. Las mediciones mencionadas se basan en la propiedad de los líquidos para detener o refractar un rayo de luz, proporcional a la concentración de los líquidos (Sillier, 2004).

El contenido en sólidos solubles es un parámetro que presenta gran variación en función del cultivar, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la disolución nutritiva, estrés hídrico, etc. Cuando la conductividad eléctrica aumentaba, se ha comprobado que el contenido en sólidos solubles y azúcares solubles aumentaba (Adams, 1991, Lin y Glass, 1997, Pérez *et al.*, 1997, citados por González *et al.*, 2004). Hay otros autores como Shiohara *et al.* (1995) citados por González *et al.*, (2000), que indican que cuando a la planta de tomate se le somete a un estrés hídrico medio, aunque la producción y tamaño de los frutos sea menor, el contenido en sólidos solubles es mayor, aumentando la calidad del fruto.

Acidez

La concentración de ácido puede ser medida por una simple titulación química del jugo de la fruta. Los ácidos orgánicos de las frutas, generalmente disminuyen durante el almacenaje y la maduración. Los ácidos comunes en las frutas son el cítrico, en alta concentración en las frutas cítricas y el ácido málico de los tomates, el málico,

el principal ácido de las manzanas y duraznos, los ácidos málico y tartárico en las uvas, el ácido oxálico en las carambolas, etc. (Siller, 2004).

Durante la maduración fisiológica y organoléptica, con frecuencia decae la acidez muy rápidamente (Wills *et al.*, 1998).

La acidez titulable y el pH no están directamente relacionados, dado que el pH depende de la concentración de hidrogeniones libres y de la capacidad tampón del jugo extraído. Sin embargo, el pH constituye una medida útil y de fácil obtención, se emplea mucho en la industria enológica, como índice de calidad del mosto (Wills *et al.*, 1998).

Al igual que ocurría con los sólidos solubles, los ácidos orgánicos medidos como ácido cítrico, suelen aumentar cuando la salinidad de las disoluciones nutritivas son mayores (Pérez-Alfocea y Cuartero, 1997, citados por González *et al.*, 2004).

Relación sólidos solubles totales/acidez titulable

El sabor del tomate es finalmente el atributo de calidad más apreciado por los consumidores, aunque este puede estar enmascarado por atributos visibles, ya que el sabor y el aroma están determinados por su composición química, destacando dos tipos de compuestos, los azúcares y los ácidos orgánicos. Costa y Campos (1985) y Grenleaf (1961) indican que la acidez y los sólidos solubles son las variables que más interesan a la industria.

Para Wills *et al.* (1998), mejor relacionado con las valoraciones organolépticas está el cociente azúcar/ácido, expresando ambas variables en términos de peso sobre peso fresco. Para muchas frutas, la acidez y el sabor son afectados por la proporción entre el azúcar y el ácido. Al determinar el gusto o la acidez de las diversas frutas o jugos de frutas, los términos azúcar en proporción al ácido" o "Brix en proporción al ácido" son usados comúnmente. Cuanto más alto es son los "Brix tanto mayor es la concentración de azúcar en el jugo, cuanto más alto son los "Brix en relación al ácido tanto más dulce y menos agrio es el jugo.

Valor nutritivo

El valor nutritivo es probablemente el aspecto al que menos consideración presta el consumidor a la hora de decidir si adquiere o no un determinado producto, dado que la mayor parte de los nutrientes esenciales ni se ven ni se saborean. El principal nutriente de las frutas y hortalizas es la vitamina C, cuyo aporte, en la dieta de la mayoría de los seres humanos, depende exclusivamente de esta fuente (Wills, et al., 1998).

A diferencia de otras frutas y hortalizas, los tomates y las zanahorias presentan una mayor cantidad de carotenos que de xantofilas. El licopeno, de estructura lineal abierta, es el responsable del color rojo de los tomates, aunque también existen pequeñas cantidades de β y α -caroteno y xantofilas, lo que hace un total de 20 a 60 ppm de carotenoides. La cantidad de los distintos carotenoides varía considerablemente con la madurez de los productos vegetales y con la pérdida de la clorofila (Bañal, 2006).

El fruto de tomate es una fuente importante de antioxidantes entre los que se incluyen los carotenoides como el licopeno, el β -caroteno, el fitoeno y el fitoflaveno, además de la vitamina C y la E. Estos antioxidantes ayudan a los humanos a prevenir ciertas enfermedades de cáncer. En los frutos de tomate, el licopeno es además responsable del color rojo característico que los distingue (Siller, 2004).

Localización

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero hortícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Agrícola Experimental San Luis, ubicado en el Km. 14.5 de la carretera 57 tramo San Luis-Matehuala, en el Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, con coordenadas 22° 13' 43" N y 100° 51' 01" W, durante el periodo 2007-2008.

El experimento consistió en evaluar el rendimiento y la calidad de frutos de tres híbridos de tomate bola de hábito indeterminado, producidos en tres diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero en hidroponía. A continuación se presentan los materiales y métodos utilizados.

Características del Invernadero

Se utilizó un invernadero modelo I-2 W-576, con dimensiones de 16 m de ancho por 36 m de longitud, con altura de 4 m de pared más 2 m de arco para una altura total de 6 m, automatizado, equipado con ventilación por circulación de aire, mediante la utilización de 9 ventiladores y dos extractores distribuidos uniformemente en el invernadero, cuatro calentadores marca centinela 250 de combustión directa de gas, con encendido electrónico y termostato de alta sensibilidad y presión, para calentar el ambiente dentro del invernadero, sensores de temperatura y de lluvia, cuenta con control automático para la apertura de ventanas laterales y cenitales, sistema de nebulización, pantalla térmica interna y camas hidropónicas elevadas. Para la aplicación de la solución nutritiva, se tiene un fertirrigador automático con sensores de pH y C.E., para el control de la solución nutritiva, riego por espaguete y electroválvulas para derivar la solución nutritiva a las diferentes secciones de cultivo.

Tratamientos

Se evaluaron dos factores y tres niveles por factor, siendo el factor S los sustratos y el factor C los cultivares. Los niveles para S fueron Perlita, Fibra de Coco y Tezontle, y los niveles para C fueron Dundee, Starbuck y Silvana. Los tratamientos resultaron de todas las combinaciones de los factores con sus niveles, o sea 9 tratamientos.

Sustratos Utilizados

Se utilizaron tres sustratos, que de acuerdo con Abad y Noguera (2000), quedaron clasificados de la siguiente manera, dos inorgánico mineral, perlita (transformado) y tezontle (origen natural), y uno orgánico, fibra de coco (subproducto). Estos sustratos fueron caracterizados mediante literatura revisada y análisis en laboratorio.

Cultivares Utilizados

Se usaron tres cultivares indeterminados de tomate bola, los cuales fueron escogidos por sus características agronómicas y comerciales, reportadas en condiciones similares a la zona. La nomenclatura comercial de los cultivares utilizados es: Dundee, Starbuck y Silvana.

Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, haciendo uso de un factorial 3^2 (tres sustratos y tres cultivares), con 9 tratamientos, 4 repeticiones y 36 unidades experimentales.

El modelo estadístico para un experimento factorial, con dos factores S y C, en un diseño completamente al azar sería:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = es la (ijk) -ésima observación en el i -ésimo nivel del factor S y el j -ésimo nivel del factor C.

μ = Es la media general.

α_i = Es el efecto de j -ésimo nivel del factor S.

τ_j = Es el efecto del k -ésimo nivel del factor C.

$\alpha\tau_{ij}$ = Es la interacción del i -ésimo nivel del factor S con el j -ésimo nivel del factor C.

e_{ijk} = Es el error aleatorio.

El arreglo de los tratamientos dentro del invernadero se llevó a cabo de acuerdo con la Figura 3.

PERLITA	DUNDEE				STARBUCK				SILVANA			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
FIBRA DE COCO	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
TEZONTLE	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV

Figura 3. Arreglo de los sustratos y los cultivares en el invernadero del Campo Experimental San Luis del INIFAP.

Parcela Experimental

Se utilizaron 3 camas de 36 m de longitud. Cada cama estaba constituida de 36 sacos o salchichas de cultivo de 1 m de longitud, lo que representó 9 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento. La parcela útil fue un saco de cultivo con cinco plantas.

Producción de Plántula

La producción de plántulas de los tres híbridos evaluados, se realizó en el invernadero antes descrito. Se utilizaron charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades, éstas se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio al 2%, posteriormente se llenaron las cavidades con Peat moss comercial humedecido a capacidad de campo. Previa a la siembra, las semillas fueron tratadas con Imidacloprid (Gmuche 70WS) a razón de un sobre de 35 g por cada medio kg de semilla, para evitar problemas de virus. También se realizaron pruebas moleculares a las semillas para detectar posibles problemas asociados a la presencia de enfermedades.

La fecha de siembra fue el 24 Septiembre de 2007, y se realizó depositando una semilla en cada cavidad y en seguida se cubrió con una capa de la mezcla formada por 2/3 vermiculita y 1/3 de Peat moss. Posteriormente se mantuvo el nivel de humedad adecuado en el Peat moss hasta la emergencia.

Después de la emergencia, las pequeñas plantas se regaron con la solución nutritiva para plántula propuesta por Hochmuth y Hochmuth (1996), esta solución se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Solución nutritiva para plántulas de tomate en sustrato inerte (Hochmuth y Hochmuth, 1996.)

Nutriente	Solución nutritiva (ppm)
N	50
P	20
K	50
Ca	100
Mg	20
S	50
Fe	1
Cu	0.1
Mn	0.5
Zn	0.2
B	0.5

Establecimiento del Cultivo

El 24 de octubre de 2007 se llevó a cabo el trasplante en los sacos de cultivo y en las macetas de tezontle.

Para perlita y fibra de coco la plantación se realizó en sacos de polietileno coextruido bicolor blanco/negro (negro por dentro) los que se llenaron con el sustrato correspondiente. Para el tezontle se usaron bolsas de polietileno de color negro con capacidad para 10 L, las que se llenaron a un 80% de su capacidad. Se establecieron hileras dobles a una separación de 1.72 m entre hileras pares (de centro a centro de hileras dobles) y con una longitud de 36 m. La separación entre plantas fue de 0.40 m. En cada saco de cultivo se establecieron cinco plantas distribuidas espacialmente a "tres bolillo". La parcela experimental fue de tres sacos de cultivo y la útil fue el saco central.

La densidad de plantas fue de 2.9 plantas por m^2 , lográndose con 5 plantas por metro lineal separadas por pasillos de 1.4 m. Para el caso del tezontle se siguió el mismo arreglo para obtener la misma densidad de plantas.

Sistema de Riego

Sistema automatizado de riego por goteo con todos los aditamentos principales, más tres depósitos para la solución madre. Tanque A para cloruros, ácidos, sulfatos, nitratos y molíbdatos; tanque B para el calcio y los quelatos; tanque C para la solución ácida neutralizadora de la alcalinidad del agua. Cabezal de riego para controlar las características de la solución (CE, pH) y el tiempo de riego.

La distribución de la solución nutritiva fue mediante tuberías de plástico que terminaban en microtubos y un gotero por planta con gasto de 4 L h^{-1} , el control del gasto en los goteros se realizó por válvulas eléctricas desde el cabezal del sistema. La frecuencia de los riegos se calculó con base al volumen de lixiviado, éste se mantuvo entre el 15 y el 20% en todos los sustratos, el criterio para la aplicación del agua de riego se fundamentó en tiempo y volumen, de acuerdo al gasto nominal de los goteros, cuidando estar dentro del rango de lixiviado.

Solución Nutritiva para Planta

Después del trasplante, la nutrición de las plantas se llevó a cabo utilizando la solución nutritiva propuesta por Hochmuth y Hochmuth (1996), ver Cuadro 5. Esta solución permitió dosificar la nutrición en cinco etapas fenológicas de acuerdo a la demanda del cultivo.

La solución se preparó a base de Nitrato de Calcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$], Cloruro de Calcio (CaCl_2), Nitrato de Amonio [NH_4NO_3], Nitrato de Potasio (KNO_3), Sulfato de Potasio (K_2SO_4), Cloruro de Potasio (KCl), Sulfato de Magnesio (MgSO_4), Fosfato Monopotásico (KH_2PO_4) más los micronutrientes Ácido Bórico (H_3BO_3), Sulfato de Manganeso (MnSO_4), Sulfato de Zinc (ZnSO_4), Sulfato de Cobre (CuSO_4), Molibdato de Sodio [$\text{Na}_2(\text{MoO}_4)$] y Quelato ácido etilendiaminotetracético de hierro [Fe-EDTA (Fe-330 quelatado)].

Cuadro 6. Solución nutritiva para tomate cultivado en perfito, lava de roca y NFT en Florida, E.U.A. (Hochmuth and Hochmuth, 1996)

Nutriente	Etapas de crecimiento				
	Trasplante a 1 ^o racimo	1 ^o al 2 ^o racimo	2 ^o al 3 ^o racimo	3 ^o al 5 ^o racimo	5 ^o al final del racimo
<i>Concentración final de la solución (ppm)</i>					
N	70	80	100	120	150
P	50	50	50	50	50
K	120	120	150	150	200
Ca	150	150	150	150	150
Mg	40	40	40	50	50
S	50	50	50	60	60
Fe	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Cu	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mn	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Zn	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
B	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Mo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C (EdS m ⁻¹)	0.9	0.9	1.3	1.5	1.8

El sistema de cultivo se desarrolló como un ciclo de producción corto de 5.5 meses que abarcó desde el día 24 de septiembre del 2007, fecha en que se llevó a cabo la siembra de los híbridos de tomate, hasta el día 11 de marzo del 2008, fecha en que se llevó a cabo el último corte. En todo el ciclo se realizaron 8 cortes, incluyendo "la calentona".

Variables a Medir

Calidad del agua de riego

En el presente trabajo se utilizó agua de riego proveniente del pozo del Campo Experimental San Luis del INIFAP, razón por la cual antes de iniciar los trabajos de cultivo, se obtuvieron muestras de esta agua, las cuales se mandaron analizar al Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato. Una vez que se reportaron los análisis, se realizó una interpretación basada en los siguientes criterios: contenido de sales solubles, efecto del sodio sobre la interacción de nutrientes y fitotoxicidad, contenido de elementos tóxicos para las plantas, y riesgo de obstrucción del sistema de riego.

Análisis de sustratos

En el Laboratorio de Sustratos del INIFAP, Campo Experimental Bajío, se practicaron los siguientes análisis físicos a los sustratos:

- Densidad aparente.
- Densidad real.
- Porcentaje de espacio poroso.
- Porosidad efectiva.
- Capacidad de aireación.
- Agua fácilmente disponible.
- Agua total disponible.

- Agua difícilmente disponible
- Capacidad de retención de agua
- Agua de reserva.

La interpretación de los análisis reportados por el laboratorio, se llevó a cabo utilizando la metodología del análisis comparativo con niveles de referencia en función de etapas fenológicas.

Análisis de plantas

Pruebas microbiológicas y moleculares realizadas a semillas y hojas

Con la finalidad de hacer un manejo integrado de plagas y enfermedades, se enviaron muestras de semillas y hojas al laboratorio de fitodiagnóstico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), en función de los resultados se determinó el manejo fitosanitario del cultivo.

Análisis foliares de macro y micronutrientes

Estos se llevaron a cabo en el Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Bajío. El muestreo se llevó a cabo en dos etapas del cultivo a la misma hora (9:00 a 10:00 a.m), siendo la etapa uno en la primera floración (25 días después del trasplante) y la etapa dos en el tercer corte (104 días después del trasplante). Las hojas estaban en plena actividad fotosintética, se seleccionó la quinta hoja a partir del ápice de crecimiento. Los muestreos de hoja para análisis foliar se efectuaron tomando 10 hojas al azar en cada tratamiento, se colocaron en bolsas de papel con su identificación e inmediatamente se enviaron al laboratorio, procurando que no transcurrieran más de 24 horas.

Días a primera flor

A partir del trasplante se contabilizaron los días que transcurrieron para que el 50% de las plantas de los tratamientos empezaran a florear.

Altura total de las plantas

Al finalizar el ciclo de cultivo con una cinta métrica se midió la longitud total que alcanzaron los tallos en las cuatro repeticiones de cada tratamiento.

Análisis de frutos

A los frutos cosechados se les evaluó la calidad externa e interna.

Calidad externa

Calibre

Con un vernier digital modelo CD-6 CS, MITUTOYO, en la escala métrica, se midió el diámetro ecuatorial de los tomates, tomándose las lecturas en mm para posteriormente compararse con el Cuadro 7 y agruparlos con base a este criterio, haciendo la aclaración que se llevó a cabo una ligera modificación a la clasificación USDA (2007) con la finalidad de presar aun más el calibre de los frutos, esta consistió en dividir a la clase "Extra grande" en las siguientes dos clases: "Extra" cuyo rango se estableció entre 71 mm y 75 mm, y "Super extra" mayor a 75 mm.

Cuadro 7. Clasificación del tomate por tamaño (USDA, 2007).

<i>Nomenclatura</i>	<i>Diámetro ecuatorial</i>
"Pequeño"	54 mm a 57 mm
"Mediano"	57 mm a 64 mm
"Grande"	64 mm a 70 mm
"Extra grande"	mayor de 70 mm

Finmeza

La firmeza se midió con un Fruit Pressure Tester FT 327 marca WAGNER, utilizando el pistón de 8 mm de diámetro, tomándose las lecturas (kg) en el diámetro ecuatorial de los frutos.

Color

Con la finalidad de hacer una evaluación más precisa del estado de maduración de los frutos de tomate, éstos antes de los análisis fueron comparados con la carta de colores procedente de McGlasson, Beattie and Kavanagh, (1985), citados por Willis *et al.* (1998); de tal manera que se obtuvieron estadios de maduración por corte, estos ayudaron a distinguir las diferencias entre los distintos análisis que se practicaron a los frutos.

La medición del color de los frutos se determinó con un espectrofotómetro marca MINOLTA CM 2500d, con la escala e color CIELAB, utilizando el iluminante D65, a un ángulo de 10° y los parámetros L^* , a^* y b^* (SCI).

Donde:

- El parámetro L^* proporciona un valor de luminosidad de la muestra.
- El parámetro a^* indica la tonalidad entre el verde y el rojo.
- El parámetro b^* se refiere a la tonalidad entre el azul y el amarillo.

Calidad interna

Peso específico

El peso específico se determinó utilizando el principio de Arquímedes para ello se utilizó una probeta graduada de 2 L y agua destilada a 20°C para calcular el volumen. Para obtener el peso se utilizó una balanza granataria.

Contenido de carotenoides

Para cuantificar el contenido de licopenos y β -carotenos en los frutos de tomate, se utilizó la metodología expuesta por Zapata *et al.* (2007) denominada "correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides", esta se fundamentó en la determinación de los índices de color en frutos de tomate cultivados en invernadero, utilizando un colorímetro MINOLTA

CR-300 registrando los valores L^* , a^* y b^* , para posteriormente determinar la cantidad de licopenos y β -carotenos en los frutos por HPLC fase reversa, utilizando un cromatógrafo Hewlett Packard series 1100, fase estacionaria (columna), una vez obtenidos y analizados los resultados, procedieron a buscar modelos matemáticos que fueran capaces de relacionar las concentraciones de licopenos y β -carotenos con los índices de color, entre sus resultados destaca que la concentración de licopenos responde mejor al modelo lineal que relaciona a la variable con el índice de color a^*b^* , de manera similar para la concentración de β -caroteno consideraron el uso de un modelo lineal con la relación a^*b^* , aun cuando no fue el que obtuvo el coeficiente de correlación más alto, la ventaja que señalan Zapata *et al.* (2007), es una menor complejidad en los cálculos. A continuación se presentan los modelos que encontraron y que se utilizaron en el presente trabajo:

Licopeno (mg/100 g) = $1.5490 - 3.6318 (a^*b^*)$ con $r = 0.9761$

β -caroteno (mg/100 g) = $0.0375 - 0.0916 (a^*b^*)$ con $r = 0.9731$

pH

El pH se determinó con el potenciómetro Digital, Modelo: Orion 4 Star, Marca Thermo Scientific, previamente calibrado colocando los electrodos en el filtrado de tomate (tomate molido más 50 ml de agua desionizada).

Sólidos solubles totales (SST)

Los SST se determinaron poniendo unas gotas de jugo sin diluir en un refractómetro de mano ATAGO AUTOMATIC MASTER-T, con escala Brix 0.0 - 33.0%.

Rendimiento

Utilizando como parcela útil un saco de cultivo con cinco plantas, se procedió a cosechar manualmente cada semana, los frutos se pesaron por tratamientos y repeticiones en una báscula electrónica serie L-EQ, clase III, TOR REY, en cada uno de los cortes.

Análisis Estadístico

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANAVA) y las diferencias entre medias fueron analizadas con el método de Tukey (SAS, 1992) con $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la Calidad del Agua de Riego

El agua de riego trae consigo nutrimentos como calcio, azufre, potasio, magnesio, además de elementos tóxicos como el sodio y el cloro, estas cantidades deben ser consideradas al momento de formular las soluciones nutritivas (Castellanos, 2004).

Los resultados reportados por el laboratorio con relación a los elementos esenciales y benéficos presentes en el agua de riego se presentan en los Cuadros 8 y 9. Observándose que los elementos con carga positiva Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , B^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} y Na^+ presentan valores que varían de moderadamente bajo, a sin problema, lo cual significa que no hay riesgo para el cultivo por exceso, más bien se equilibrarán sus valores de acuerdo a la solución nutritiva utilizada. Respecto a los elementos y compuestos con carga negativa (Cuadro 10), Cl^- y SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , los valores fluctuaron entre no existen a mediano, por lo que se valoraron y manejaron como los cationes para la preparación de la solución nutritiva.

Cuadro 8. Cationes encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP, 2007.

Cationes	mg L^{-1}	$\mu\text{g/L}$	Interpretación
Ca	112	22.4	Moderadamente bajo
Mg	0.2	2.43	Muy bajo
Na	1.36	31.3	Bajo
K	0.17	6.65	Muy bajo

Fuente: Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato

Cuadro 9. Otros elementos encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP, 2007.

Determinación	Unidades	Resultados	Interpretación
B	ppm	0.00	Bueno ⁽¹⁾
Fe	ppm	0.06	Sin problemas ⁽²⁾
Mn	ppm	0.01	Sin problemas ⁽²⁾
N-NO ₃	ppm	N.D.	N.D.

⁽¹⁾ Clasificación basada en Aguilera y Martínez (1996).

⁽²⁾ Clasificación por riesgo de obstrucción en riego localizado (FAO, citado por Fuentes, 1998).

N.D. = No determinado.

Fuente: Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Baja California, Querétaro.

Cuadro 10. Aniones encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP, 2007.

Aniones	me L ⁻¹	ppm	Interpretación
CO ₃	0	0	No existen
HCO ₃	1.26	83	Bajo
Cl	1.82	64.5	Medio
SO ₄	0.01	0.48	Extremadamente bajo

Fuente: Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Baja California, Querétaro.

De acuerdo con Hernández (2007), el pH óptimo de una solución nutritiva se sitúa en torno a 5.5, con este valor, tras los posteriores reajustes que suceden en la disolución, alcanzan un nivel de pH cercano a 6 en el punto de descarga, es decir, el valor de mayor disponibilidad para la mayor parte de los elementos esenciales, en este caso el valor del pH del agua fue de 6.8 (Cuadro 11) interpretándose como casi neutro (Garriz *et al.* 2001) y sin problemas de obstrucción en riego localizado (Fuentes, 1998).

Al preparar la solución nutritiva con esta agua se ajustó el pH a 6.0 ± 0.3 , o sea, al máximo rango de asimilación de nutrientes, y no se tuvieron problemas de obstrucción en el sistema de riego.

Cuadro 11. Valores de pH, CE y RASaj encontrados en las muestras del agua de pozo del Campo Experimental San Luis, INIFAP, 2007.

<i>Determinación</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>	<i>Interpretación</i>
pH	6.8		Neutro
CE	0.3	dS m ⁻¹	Med. Bajo en salinidad
RASaj	1.44	me L ⁻¹	Bajo en sodicidad

Fuente: Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Bqno, Colima, Guanajuato.

Castellanos (2004) menciona dos aspectos importantes relacionados a la CE: 1) A medida que aumentan los sólidos disueltos se incrementa la CE, y 2) Cuando una agua con una alta concentración salina no se maneja apropiadamente se corre el riesgo de aumentar su concentración en el suelo, traduciéndose en una reducción en el potencial total de agua en el suelo, lo que provoca una disminución en su disponibilidad para el cultivo y un descenso en el rendimiento. Estos dos aspectos deben ser tomados en consideración al preparar una solución nutritiva, más otros dos aspectos observados por Resh (2001): 1) La CE crece no sólo por las concentraciones de sales presentes, sino también por la composición química de la solución de nutrientes, ya que algunas sales conducen la electricidad mejor que otras, y 2) La CE varía con la temperatura.

En el presente estudio, el valor de la conductividad eléctrica del agua fue de 0.3 dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Cuadro 11), por lo que no tiene ningún grado de restricción de uso agrícola para el riego (Ayers y Westcot, 1985; citados por Castellanos, 2004).

En la preparación de la solución nutritiva, la CE se aumentó hasta $1.8 \text{ dS m}^{-1} \pm 0.3$, Resto (2001) lo explica de la siguiente manera: La concentración total de elementos en una solución nutritiva debería ser de 1,000 y 1,500 ppm, de forma que la presión osmótica facilite el proceso de absorción por las raíces. Esto correspondería a las lecturas del contenido total de sales, entre 1.5 y 3.5 dS m^{-1} . Un dS m^{-1} es aproximadamente igual a 650 ppm de sales.

Otro índice para determinar el contenido de sales solubles en el agua de riego es la salinidad efectiva (SE), éste de acuerdo con Aguilera y Martínez (1996), es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo. El valor que se le encontró a la muestra del agua fue de 1.53 me L^{-1} valor que la clasifica como buena para su utilización en riego (Aguilera y Martínez, 1996).

El sodio no se considera dentro de los elementos esenciales para preparar una solución nutritiva, sin embargo podría estar presente, ya sea por el agua de riego (Cuadro 8), o por acompañar a algún nutriente (molibdato de sodio) en la solución nutritiva. Castellanos (2004) menciona que el tomate presenta cierta tolerancia al sodio.

La sodicidad, se expresa como la presencia relativa de Na^+ con respecto a los cationes Ca^{++} y Mg^{++} , el laboratorio reportó cuatro índices para su medición (Cuadro 4.5), uno de ellos, el porcentaje de sodio posible (PSP), éste de acuerdo con Aguilera y Martínez (1996) no presenta ninguna correlación con lo que enuncia, por lo tanto no se utilizó como indicador de los efectos del sodio en el sistema de producción. Otro de ellos, el carbonato de sodio residual (CSR) según Castellanos (2004), no es un parámetro de riesgo, ya que mediante el uso de ácidos se pueden destruir los bicarbonatos y carbonatos y ser sustituidos por el anión acompañante del ácido que se utilice para tal fin, tal como sulfato, nitrato o fosfato, cuando se usa ácido sulfúrico, ácido nítrico o ácido fosfórico, respectivamente. Los otros dos índices, la relación de adsorción de sodio (RAS) y la relación de adsorción de sodio ajustada (RASaj) en un sistema de hidroponía en perfito, fibra de coco y tezontle, difícilmente podrán ser indicadores de la deflocculación de estos sustratos, pero si tendrán que ver con el aumento de la salinidad, la interacción entre nutrientes (competencia con el

K⁺) y la fitotoxicidad, ésta última, como lo indica Carretero *et al.* (2002) está ligada principalmente a la permeabilidad de las membranas, siendo más acentuada en las hojas cuando la transpiración es muy elevada.

La relación de adsorción de sodio ajustada (RASaj), se considera que es el índice más recomendable para expresar el riesgo de sodificación del suelo al usar aguas con alto contenido de sodio (Castellanos, 2004).

Los valores del RAS y del RASaj fueron de 1.67 y 1.44 me L⁻¹, respectivamente, observándose que no existe ninguna restricción de uso para el caso de la utilización de riego por goteo, así lo ratifican Carretero *et al.* (2002).

Cuadro 12. Características de salinidad y sodicidad del agua de riego del pozo del Campo Experimental San Luis del INIFAP, 2007

Determinación	Unidades	Resultados	Interpretación
CE	dS m ⁻¹	0.3	Mod. Bajo
SE	me L ⁻¹	1.53	Bajo
PSP	%	88.9	Mod. Alto
C.S.R.	%	0.04	Muy Bajo
RAS	me L ⁻¹	1.67	Mod. Bajo
RASaj	me L ⁻¹	1.44	Bajo

Fuente: Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, Campo Experimental Bajo, Colava, Guanajuato.

Basándose en los criterios de salinidad y sodicidad del USDA citado por Leon (1991), el agua quedó clasificada como C₂-S₁ cuyo significado es, bajo riesgo de alcalinización y salinización del suelo, haciendo la observación, que en esta clasificación como en otras, incluyendo la propuesta en México por Palacios y Aceves (1970), no se mencionan efectos específicos del agua de riego en sistemas de producción basados en sustratos, donde se ha comprobado que el manejo del agua rebasa estas directrices, situación que hace evidente la necesidad de actualizar las normas de calidad del agua de riego, de manera que se incluyan los posibles efectos en los sistemas de riego de alta frecuencia, sobretudo bajo condiciones de invernadero.

Finalmente, el uso de esta agua no ocasionó problemas de salinidad, sodicidad, o toxicidad en el sistema de cultivo, ni obstrucción del sistema de riego, lo cual se reflejó tanto en el rendimiento como en la calidad de los frutos, situación que confirma los resultados de los análisis, estos indican que el agua de riego no presentaba limitaciones para ser usada en un sistema de producción agrícola, como en este caso, hidroponía, riego localizado de alta frecuencia y sustratos.

Pruebas Microbiológicas y Moleculares Realizadas a Semillas y Hojas

No tomar en consideración a los organismos que viven a expensas de las plantas en los sistemas de producción agrícola, puede ocasionar el desplome parcial o total de los sistemas, con los consiguientes efectos sociales, económicos y culturales.

Con la finalidad de apoyar el manejo fitosanitario que se dio al cultivo, se cita a Valenzuela (2004) quien señala dos aspectos importantes con relación al manejo de enfermedades en hortalizas: 1) El manejo más eficiente de las enfermedades requiere la prevención, y 2) El invernadero además de proveer un ambiente controlado para el buen desarrollo de las plantas, también provee condiciones ideales para la dispersión de algunas enfermedades e insectos, haciendo que el control de estos sea una parte fundamental de la producción, sin descuidar, la producción de vegetales inocuos, la provisión de protección a los trabajadores y el evitar la contaminación ambiental.

Actualmente se cuenta con métodos de diagnóstico eficientes de plagas y enfermedades, en el caso de estas últimas sobresalen los métodos de detección microbiológicos, inmunológicos, bioquímicos y moleculares.

En el presente estudio, con la finalidad de prevenir y hacer un manejo eficiente de enfermedades en el cultivo del tomate, se llevó a cabo un monitoreo constante de enfermedades y plagas desde la siembra hasta la última cosecha, destacándose el envío de muestras de semillas y de hojas al laboratorio de fitodiagnóstico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), tanto como prevención, como cuando en alguna ocasión se llegó a presentar anomalía morfológica o fisiológica en las plantas, en estos últimos casos, no se encontró ningún agente causal. Los métodos de diagnóstico que se practicaron fueron

microbiológicos y moleculares. El Cuadro 13 muestra los resultados microbiológicos que se reportaron de las muestras enviadas:

Cuadro 13. Resultados microbiológicos obtenidos de las muestras de semillas y hojas de los cultivares de tomate

<i>Muestra</i>	<i>Resultado microbiológico</i>
Hoja – tomate Dundee	No hubo desarrollo de m. o.
Semilla – tomate Dundee	Muestra insuficiente para el análisis
Semilla – tomate Starbuck	Muestra insuficiente para el análisis
Semilla – tomate Silvana	No hubo desarrollo de m. o.

m. o. = microorganismos.

Dentro de las enfermedades más peligrosas que atacan al cultivo del tomate, están las causadas por gemmovirus, razón por la cual se trató de evitar a estos microorganismos, vía el aseguramiento de la calidad de la semilla y el seguimiento del cultivo, ambas acciones fueron llevadas a cabo de forma paralela a las buenas prácticas agrícolas. El Cuadro 14 muestra los resultados reportados por el laboratorio de fitodiagnóstico del IPICYT.

Cuadro 14. Resultados moleculares obtenidos por las muestras de semillas y hojas de los cultivares de tomate.

<i>Muestra</i>	<i>Resultado molecular*</i>
Hoja – tomate Dundee	Negativo
Semilla – tomate Dundee	Negativo
Semilla – tomate Starbuck	Muestra insuficiente para análisis
Semilla – tomate Silvana	Negativo

* Técnica utilizada: PCR con oligos CP70for e YMACres-rev.

De acuerdo con los resultados de las pruebas microbiológicas y moleculares practicadas en hojas y semillas, puede observarse que no se encontró material bacterial, fúngico o viral en las muestras consideradas suficientes, situación que coadyuvó con la sanidad de las plantas y su buen manejo fitosanitario, reflejándose en el rendimiento y la calidad de los frutos.

Análisis a los Sustratos

En el caso de los sustratos, la caracterización física viene a ser de fundamental importancia (Castellanos y Vargas, 2004).

La caracterización física de los sustratos utilizados se llevó a cabo en el Laboratorio de Sustratos del INIFAP, Campo Experimental Bajío, en los Cuadros 15, 16 y 17 se presentan los resultados emitidos

Cuadro 15. Caracterización física de la perlita.

<i>Variable</i>	<i>Resultados</i>
Densidad Aparente (Da), g cm ⁻³	0.17
Densidad Real (Dr), g cm ⁻³	0.85
Espacio Poroso Total (EPT), % vol	93.00
Capacidad de Aireación (CA), % vol	26.50
Agua Fácilmente Disponible (AFD), % vol	21.90
Agua de Reserva (AR), % vol	7.80
Agua Total Disponible (ATD), % vol	29.80
Agua Difícilmente Disponible (ADD), % vol	17.10
Capacidad de Retención de Agua (CRA), ml L ⁻¹	458.20
Porosidad Efectiva (Pe), %	73.30

Cuadro 16. Caracterización física de la fibra de coco.

<i>Variable</i>	<i>Resultados</i>
Densidad Aparente (Da), g cm ⁻³	0.07
Densidad Real (Dr), g cm ⁻³	1.49
Espacio Poroso Total (EPT), % vol	94.70
Capacidad de Aireación (CA), % vol	62.10
Agua Fácilmente Disponible (AFD), % vol	14.50
Agua de Reserva (AR), % vol	2.20
Agua Total Disponible (ATD), % vol	16.60
Agua Difícilmente Disponible (ADD), % vol	18.00
Capacidad de Retención de Agua (CRA), ml L ⁻¹	465.60
Materia Orgánica, %	93.10
Centros, %	6.90

Cuadro 17. Caracterización física del tezontle.

Variable	Resultados
Densidad Aparente (Da), g cm ⁻³	1.08
Densidad Real (Dr), g cm ⁻³	2.49
Espacio Poroso Total (EPT), % vol	60.90
Capacidad de Aireación (CA), % vol	31.10
Agua Fácilmente Disponible (AFD), % vol	10.02
Agua de Reserva (AR), % vol	5.00
Agua Total Disponible (ATD), % vol	15.02
Agua Difícilmente Disponible (ADD), % vol	10.70
Capacidad de Retención de Agua (CRA), ml L ⁻¹	256.50
Porosidad Efectiva (Pe), %	56.80

Con la finalidad de analizar las posibles variaciones físicas de los sustratos utilizados, éstos fueron comparados con los valores reportados en la literatura. A continuación se presentan los resultados.

Densidad aparente (Da, g cm⁻³). El valor de 0.17 de la Da de perlita B-12 utilizada, es 0.05 más alto del rango 0.10 a 0.12 reportado por Marfá *et al.* (1993), Martínez *et al.* (1993); citados por Castellanos y Vargas (2004). El valor de 0.07 de la Da de fibra de coco utilizada coincide con el nivel óptimo de menos de 0.4 reportado en el Cuadro 3. El valor de 1.08 de la Da del tezontle es 0.31 más alto que el valor (b) de 0.77 reportado en el Cuadro 4.

Densidad real (Dr, g cm⁻³). El valor de 2.49 de la Dr de perlita B-12 se encuentra dentro del rango 2.4 a 2.6 reportado por Moreno (2004). El valor de 0.65 de la Dr del de la fibra de coco utilizada se encuentra 0.183 arriba del rango 0.586 a 0.467 reportado por Pite y Pereira (2003). El valor de 2.49 de la Dr del tezontle utilizado se encuentra 0.16 debajo del valor 2.65 reportado en (a) y (b) en el Cuadro 4.

Espacio poroso total (EPT, % vol). El valor de 90% de EPT de perlita B-12 está 5% arriba del valor 85% reportado por Castellanos y Vargas, (2004). El valor de 94.7% de EPT de la fibra de coco utilizada coincide con el nivel óptimo de más de 85% reportado en el Cuadro 3. El valor de 60.9% de EPT del tezontle utilizado se encuentra 10.04% abajo del valor 70.94% (b) reportado en el Cuadro 4.

Capacidad de aireación (CA, % vol.) El valor de 26.5% de la CA de perlita B-12 está 3.5% abajo del valor 30% reportado por Castellanos y Vargas (2004). El valor de 60.1% de la CA de la fibra de coco utilizada, está 2.1% arriba del valor 58% reportado por Petit (2000). El valor de 31.1% de la CA del tezontle utilizado, está dentro del rango 32 - 45% reportado por Castellanos y Vargas (2004).

Agua fácilmente disponible (AFD, % vol.) El valor de 21.9% del AFD de la perlita B-12, está 3.1% abajo del valor 25% reportado por Castellanos y Vargas (2004). El valor de 14.5% del AFD de la fibra de coco utilizada, está 5.5% abajo del nivel óptimo 20% señalado por Petit (2000). El valor de 10% del AFD del tezontle utilizado, está 3.45% arriba del valor (b) de 6.55% reportado en el Cuadro 4.

Agua de reserva (AR, % vol.) El valor de 7.8% del AR de la perlita B-12 está 0.8% arriba del valor de 7.0% reportado Castellanos y Vargas (2004). El valor de 2.2% del AR de la fibra de coco utilizada está 1.8% abajo del nivel óptimo de 4% señalado en el Cuadro 3. El valor de 5% del AR del tezontle utilizado está 2.75% arriba del valor (a) de 2.25% reportado en el Cuadro 4.

Agua total disponible (ATD, % vol.) El valor de 29.8% del ATD de la perlita B-12, está 23.28% por encima del valor 6.52% calculado de los datos reportados por Bures, 1997. El valor de 16.6% del ATD de la fibra de coco utilizada está 7.4% abajo del nivel óptimo de 24% señalado en el Cuadro 3. El valor de 15% del ATD del tezontle utilizado está 7.33% arriba del valor calculado de 7.67% con base en (a) del Cuadro 4.

Agua difícilmente disponible (ADD, % vol.) El valor de 17.1% del ADD de la perlita B-12, está 2.55% arriba del valor 14.55% reportado por Bures (1997). El valor de 18% del ADD de la fibra de coco utilizada, está en el límite inferior del rango 18 a 34% reportado por Castellanos y Vargas (2004). El valor de 10.7% del ADD del tezontle utilizado, está dentro del rango 7.89 a 14.31% de los valores (a) y (b) reportados en el Cuadro 4.

Capacidad de retención de agua (CRA, ml L⁻¹). El valor de 468.2 del CRA de la perlita B-12 está en el rango de valores 45.10 a 59.69% vol., correspondientes a 20 y 10 cm de columna de agua, reportado por Moreno (2004). El valor de 465.6 de la CRA de la fibra de coco utilizada está dentro del rango 45 a 68% señalado por Castellanos y Vargas (2004). El valor de 256.5 de la CRA del tezontle utilizado se encuentra 113.5 abajo del rango de valores 27 a 50% vol., reportado por Castellanos y Vargas (2004).

En el análisis anterior, puede observarse que fue mínima la variación de las propiedades físicas de los sustratos utilizados con relación a los valores reportados, esto significa confiabilidad al momento de hacer un análisis comparativo.

Por lo anterior, se contrastaron las propiedades físicas de los sustratos con las propiedades de lo que varios investigadores (Abad *et al.*, 1993; Flores, 2007; Cabrera, 1999) han denominado "el sustrato ideal", con la finalidad de determinar la semejanza de los sustratos con el sustrato ideal, y como se verá más adelante, sus efectos en el rendimiento y parámetros de calidad del fruto de tomate.

Cuadro 18. Comparación de las propiedades físicas de los sustratos utilizados con las propiedades físicas del sustrato ideal.

Sustrato	D_a (g cm ⁻³)	EPT (% vol.)	CA (% vol.)	AFD (% vol.)	AR (% vol.)	ATD (% vol.)
Sustrato Ideal*	< 0.4	> 5	20 - 30	20 - 30	4 - 10	20 - 40
Perlita	0.17	90.0	26.5	21.9	7.8	29.8
Fibra de Coco	0.07	94.7	40.1	14.5	2.2	10.6
Tezontle	1.08	60.9	31.1	10.0	5.0	15.0

Abad *et al.* (1993).

D_a = Densidad aparente, EPT = Espacio poroso total, CA = Capacidad de absorción, AFD = Agua fácilmente disponible, AR = Agua de reserva, ATD = Agua total disponible.

En el Cuadro 18, se observa que con la D_a el tezontle no cumplió con el ideal, con el EPT todos cumplieron, con la CA la fibra de coco y el tezontle no cumplieron, con el AFD la fibra de coco y el tezontle no cumplieron, con el AR la fibra de coco no cumplió, con el ATD la fibra de coco y el tezontle no cumplieron. Por lo analizado, el sustrato utilizado que más se parece al sustrato ideal descrito por Abad *et al.*

(1993), es la Perlita, ya que se encuentra dentro del rango en todas las propiedades señaladas en el cuadro; posteriormente con dos propiedades dentro del rango, se encuentran empatados la fibra de coco y el tuzontle.

Análisis Foliares

Con relación al diagnóstico nutrimental del cultivo Etchevers (1997) indica que la interpretación de los resultados requiere de una investigación previa para establecer niveles de referencia, siendo los principales criterios para la interpretación de los análisis de tejido vegetal, el nivel crítico de deficiencia y toxicidad y los rangos de concentración. Por lo anterior, se compararon los resultados de los dos análisis foliares tomando en cuenta los días después del trasplante (DDT), con niveles de referencia (NR) considerados como adecuados para el cultivo de tomate, estos niveles son propuestos por Castellanos (2004), ver anexos.

La interpretación de los resultados del análisis se dividió en tres niveles: abajo del normal (B), normal o adecuado (N) y arriba del normal (A), obviamente y de acuerdo con Castellanos (2004) el cultivo debe tener valores en el rango normal (N). Estos resultados y su discusión se presentan a continuación.

Nivel nutrimental del cultivo a los 25 días después del trasplante

En el Cuadro 19 se observan niveles de nitrógeno por abajo del normal en un 89% de los tratamientos; un 67% presenta niveles adecuados de fósforo, un 100% presenta niveles de potasio por abajo del normal, un 45% presenta niveles adecuados de calcio, un 78% presenta niveles normales de magnesio, y el 100% de los tratamientos presenta niveles normales de azufre.

Cuadro 19. Diagnóstico de macronutrientes a los 25 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate.

Tratamiento	N Total (%) NR = 4.6-4.5	P (%) NR = 0.5-0.7	K (%) NR = 1.5-1.8	Ca (%) NR = 2.0-2.2	Mg (%) NR = 1.4-1.7	S (%) NR = 0.2-0.3
P-Duodéc	3.2 (B)	0.8 (A)	2.9 (B)	2.1 (N)	0.5 (N)	0.6 (N)
P-Starbuck	4.1 (N)	0.6 (N)	2.8 (B)	2.2 (N)	0.5 (N)	0.7 (N)
P-Silvana	5.4 (E)	0.6 (N)	2.6 (B)	2.5 (N)	0.6 (N)	0.7 (N)
FC-Duodéc	5.9 (E)	0.7 (N)	2.0 (B)	1.2 (B)	0.5 (N)	1.5 (N)
FC-Starbuck	3.7 (B)	1.4 (B)	1.4 (B)	1.9 (B)	0.5 (N)	0.6 (N)
FC-Silvana	2.5 (B)	0.5 (N)	1.9 (B)	1.9 (B)	0.5 (N)	0.4 (N)
T-Duodéc	2.5 (B)	0.6 (N)	2.0 (B)	2.2 (N)	1.4 (N)	0.6 (N)
T-Starbuck	3.0 (B)	0.9 (N)	2.4 (B)	3.0 (A)	0.8 (A)	0.8 (N)
T-Silvana	3.0 (B)	0.8 (A)	2.2 (B)	3.0 (A)	0.9 (A)	0.7 (N)

NR = Nivel de referencia (Castellanos, 2004), (A) = Arriba del normal, (N) = Normal, (B) Abajo del normal.

El Cuadro 20 muestra un 78% de los tratamientos con niveles de hierro y zinc por debajo del normal, un 100% presenta niveles adecuados de manganeso, y el 67% tiene niveles normales de cobre.

Cuadro 20. Diagnóstico de micronutrientes a los 25 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate.

Tratamiento	Fe (ppm) NR = 66-110	Zn (ppm) NR = 28-40	Mn (ppm) NR = 60-200	Cu (ppm) NR = 5-15
P-Duodéc	55.0 (B)	19.5 (B)	85.1 (N)	6.9 (N)
P-Starbuck	25.1 (B)	17.2 (B)	103.0 (N)	6.8 (N)
P-Silvana	34.0 (B)	17.6 (B)	117.0 (N)	9.0 (N)
FC-Duodéc	17.6 (B)	8.7 (B)	112.0 (N)	2.1 (B)
FC-Starbuck	40.1 (B)	10.0 (B)	150.0 (N)	1.3 (B)
FC-Silvana	30.1 (B)	18.2 (B)	137.0 (N)	4.1 (B)
T-Duodéc	99.7 (B)	15.1 (B)	89.7 (N)	6.7 (N)
T-Starbuck	84.5 (N)	20.1 (B)	81.1 (N)	6.1 (N)
T-Silvana	38.2 (N)	21.0 (N)	105.0 (N)	6.8 (N)

NR = Nivel de referencia (Castellanos, 2004), (A) = Arriba del normal, (N) = Normal, (B) Abajo del normal.

En general a los 25 DDT se presentaron valores de N, K, Fe y Zn por abajo del rango señalado por el NR, y valores de P, Ca, Mg, S, Mn y Cu dentro del rango.

Nivel nutrimental del cultivo a los 104 días después del trasplante

El Cuadro 21 muestra un 89% de los tratamientos con valores de nitrógeno por arriba del NR, un 56% con valores de fósforo dentro del rango del NR, un 67% con valores de potasio dentro del rango del NR, un 78% con niveles de calcio abajo del NR, un 100% muestra niveles de magnesio abajo del NR, y un 100% presenta niveles de azufre arriba del NR.

Cuadro 21. Diagnóstico de macronutrientes a los 104 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate.

Treatmentos	N (%) NR = 4.42 *	P (%) NR = 0.408	K (%) NR = 3.520	Ca (%) NR = 2.520	Mg (%) NR = 0.60 *	S (%) NR = 0.503
P-Duodex	4.7 (A)	0.7 (A)	3.5 (N)	1.2 (B)	0.3 (B)	3.3 (A)
P-Starbuck	4.7 (A)	0.8 (A)	3.2 (A)	1.6 (B)	0.2 (B)	1.5 (A)
P-Silvana	4.8 (A)	0.9 (A)	3.5 (A)	3.9 (B)	0.3 (B)	3.7 (A)
FC-Duodex	4.6 (A)	0.6 (N)	5.5 (A)	3.6 (B)	0.2 (B)	3.7 (A)
FC-Starbuck	4.9 (A)	0.6 (N)	4.4 (N)	1.7 (B)	0.3 (B)	2.0 (A)
FC-Silvana	4.8 (A)	0.7 (A)	4.2 (N)	1.6 (B)	0.2 (B)	1.8 (A)
T-Duodex	3.9 (A)	0.5 (N)	4.4 (N)	2.6 (N)	0.1 (B)	1.7 (A)
T-Starbuck	3.7 (N)	0.5 (N)	4.2 (N)	2.5 (N)	0.3 (B)	1.7 (A)
T-Silvana	4.3 (A)	0.6 (N)	4.3 (N)	2.3 (B)	0.1 (B)	2.0 (A)

NR = Nivel de referencia (Castellano, 2004). (A) = Arriba del normal. (N) = Normal. (B) = Abajo del normal.

En el Cuadro 22 se observa un 100% de tratamientos con niveles de hierro y manganeso por arriba del NR, y un 100% con niveles dentro del rango de NR de zinc y cobalto.

Cuadro 22. Diagnóstico de micronutrientos a los 104 días después del trasplante con base en la comparación de niveles nutrimentales considerados como adecuados para el cultivo del tomate.

Tratamiento	P (ppm) NR = 10-100	S (ppm) NR = 20-50	Mn (ppm) NR = 60-200	Cu (ppm) NR = 3-13
P-Dundee	149.0 (A)	23.3 (N)	246.0 (A)	11.2 (N)
P-Saraback	163.0 (A)	34.3 (N)	261.0 (A)	11.1 (N)
P-Silvana	159.0 (A)	29.0 (N)	293.0 (A)	11.9 (N)
PC-Dundee	118.0 (A)	29.0 (N)	268.0 (A)	15.0 (N)
PC-Saraback	140.0 (A)	30.7 (N)	269.0 (A)	12.8 (N)
PC-Silvana	112.0 (A)	23.2 (N)	257.0 (A)	14.1 (N)
T-Dundee	163.0 (A)	43.0 (N)	367.0 (A)	7.3 (N)
T-Saraback	180.0 (A)	27.8 (N)	393.0 (A)	7.2 (N)
T-Silvana	218.0 (A)	24.2 (N)	363.0 (A)	7.4 (N)

NR = Nivel de referencia. (A) = Arriba del normal. (N) = Normal. (B) Abajo del normal.

A los 104 DDT se observaron valores de Ca y Mg por abajo del NR, valores de P, K, Zn y Cu dentro del rango del NR, y valores de N, S, Fe y Mn por arriba del rango del NR.

Para complementar los resultados de los análisis foliares, en el apéndice se presentan las gráficas de la dinámica nutrimental, en ellas se muestra la variación nutrimental a los 25 y a los 104 días después del trasplante, así como los rangos considerados más adecuados de acuerdo con los DDT. En las gráficas puede apreciarse que los consumos de N, P, K, S, Fe, Zn, Mn y Cu fueron menores a los 25 días y mayores a los 104 días, resultados que de acuerdo con los valores reportados por Castellanos (2004) para N, P, S y Fe deben ser a la inversa, para el caso del K es correcto que su consumo vaya ascendiendo, pero su valor está abajo del NR a los 25 días, el Zn debió haberse mantenido constante y no fue así, su valor a los 25 días está abajo del NR; el Mn también debió haberse mantenido en un rango constante, no sucedió así, su valor a los 104 días está arriba del NR; el Cu prácticamente mantuvo el rango constante señalado en el NR. En el caso del Ca los contenidos son ligeramente mayores a los 25 días y menores a los 104 días, valores que de acuerdo con el NR

deben ser casi constantes, para el Mg el caso es similar al del calcio, excepto en que el nivel de referencia presenta un rango más estrecho a los 15 DDT.

En general se observaron fluctuaciones nutrimentales con respecto a los niveles de referencia (NR), estas se presentaron de la siguiente manera: un 43% de los nutrimentos reportados en los análisis foliares estuvieron dentro del NR, un 27% por arriba del NR, y solamente un 30% por abajo del NR. Por lo anterior, es necesario contar con valores que relacionen el NR con los siguientes factores: rendimiento, cultivar utilizado, manejo del cultivo (incluyendo la forma de tomar la muestra), nivel de humedad del suelo o sustrato, y condiciones ambientales, esto permitirá tener mayor objetividad al realizar el análisis comparativo.

Otro aspecto observado, fue la falta de niveles de referencia más precisos, que por un lado indiquen exceso de nutrimentos y su posible fitotoxicidad, y por otro, concentraciones límite a niveles de carencia de nutrimentos, por esta situación, se requieren estudios de diagnóstico nutrimental *ad hoc* que incluyan estas variables. Por lo expresado con anterioridad, los resultados del análisis nutrimental comparativo, carecen de precisión fuera del rango señalado como adecuado.

Días a Primera Flor (DPF)

Una característica agronomica que indica la precocidad de los cultivares son los días que transcurren después del trasplante hasta que aparece la floración, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Análisis de varianza para DPF

El análisis de varianza (ANAVA) para DPF encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para tratamientos, sustratos y cultivares, y diferencia significativa ($p < 0.05$) para la interacción, así como un $C.V. = 4.74\%$.

Cuadro 23. Resultado del análisis de varianza para días a primera flor de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.

Fuente de variación	F calculada
Tratamientos	5.489 **
Sustrato	7.970 **
Cultivar	7.807 **
Interacción S x C	3.090 *

* = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01

Dinámica de los tratamientos para DPF

Las combinaciones Perlita-Dundee, Fibra de coco-Silvana, Fibra de coco-Starbuck, Fibra de coco-Dundee y Tezontle-Dundee fueron las más precoces con 25 DPF; posteriormente Tezontle-Silvana con 26, luego Perlita-Silvana y Perlita-Starbuck con 27.75; finalmente Tezontle-Starbuck con 28.75.

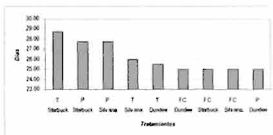


Figura 4. Efecto de los tratamientos en el tiempo transcurrido a primera flor de plantas de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

El resultado de la prueba de medias para los días a primera flor se presenta a continuación.

Cuadro 24. Resultado de la prueba de medias en tratamientos para días a primera flor de tres cultivares de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

<i>Tratamientos</i>	<i>Días a primera flor</i>
Tezontle-Starbuck	28.75a
Perlita-Starbuck	27.75ab
Perlita-Silvana	27.75ab
Tezontle-Silvana	26.00ab
Tezontle-Dundee	25.50b
Fibra de Coco-Dundee	25.00b
Fibra de Coco-Starbuck	25.00b
Fibra de Coco-Silvana	25.00b
Perlita-Dundee	25.00b

Medias con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \leq 0.05$)

DPF por efecto de los cultivares

En la Figura 5 se aprecia que Dundee fue el más precoz con 25.17 DPF, seguido de Silvana 26.17 y finalmente Starbuck con 27.17. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

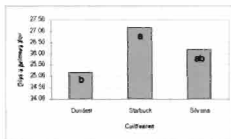


Figura 5. Efecto del factor cultivar en los días a primera flor de tres híbridos de tomate bola cultivados en invernadero.

DPF por efecto de los sustratos

La capacidad de producir una cosecha en el más corto periodo de tiempo es una finalidad del uso de sustratos (Cadahia, 1998, citado por Flores, 2007). La Figura 6 muestra que la Fibra de coco transmitió mayor precocidad a los cultivares con 25 DPF y el Tezontle y la Perlita se comportaron igual con 26.75. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

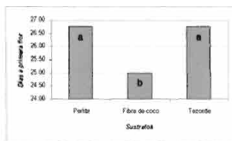


Figura 6. Efecto del factor sustrato en los días a primera flor de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.

DPF por efecto de la interacción sustrato x cultivar

El análisis estadístico descubrió interacción sustrato x cultivar (S x C) para DPF, una representación gráfica se presenta en la Figura 7, destacándose efectos en: a) Precocidad con la interacción Fibra de coco-Dundee, y b) Retardo en la floración con el híbrido Starbuck en sus combinaciones con Perlita y Tezontle. En los casos de Fibra de coco-Starbuck, Perlita-Dundee y Tezontle-Dundee, las interacciones parecen ser opuestas, pero de acuerdo con la gráfica se ajustan a un promedio, porque la suma de sus valores presenta tendencia a la media de las interacciones, sin embargo es necesario considerar que realmente su valor medio tiende más hacia el límite inferior (ver medias de los tratamientos).

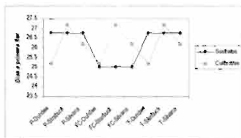


Figura 7. Interacción S x C observada para días a primera flor en tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.

Los resultados obtenidos indican que es posible reducir el tiempo transcurrido para el inicio de cosecha mediante la utilización de la Fibra de coco con cualquiera de los tres híbridos evaluados, haciéndose más evidente con la combinación Fibra de coco-Dundee.

Altura de Plantas (AP)

La altura de las plantas es una característica agronómica que influye en el manejo y la producción de los cultivares.

Análisis de varianza para AP

El análisis de varianza (ANAVA) para AP encontró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para tratamientos, sustratos, cultivares, e interacción, así como un C.V = 2.65%.

Cuadro 25. Resultado del análisis de varianza para altura de plantas de tres cultivares de tomate bola cultivados en invernadero.

Fuente de variación	F calculada
Tratamientos	81.769 **
Sustrato	21.763 **
Cultivar	94.980 **
Interacción S x C	5.167 **

* - Significativo al 0.05, ** - Significativo al 0.01

Dinámica de los tratamientos para AP

Los tratamientos con respecto a la AP (m) se comportaron de la siguiente manera: Fibra de coco-Starbuck altura de 4.00, Perlita-Starbuck 3.93, Fibra de coco-Dundee 3.77, Tezontle-Dundee 3.67, Perlita-Dundee 3.60, Tezontle-Starbuck 3.58, Fibra de coco-Silvana 3.43, Perlita-Silvana 3.33 y Tezontle-Silvana de 3.17 m.

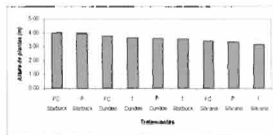


Figura 8. Efecto de los tratamientos en la altura de plantas de tres cultivares de tomate bola en un ciclo de producción de cuatro meses y medio en invernadero.

La prueba de medias realizada a los diferentes tratamientos para la AP se manifestó de la siguiente manera.

Cuadro 26. Prueba de medias para la altura de plantas de tres cultivares de tomate cultivados en invernadero.

<i>Tratamientos</i>	<i>Altura de plantas (m)</i>
FC-Starbuck	4.00a
P-Starbuck	3.93a
FC-Dundee	3.77ab
T-Dundee	3.67b
P-Dundee	3.60bc
T-Starbuck	3.58bc
FC-Silvana	3.43cd
P-Silvana	3.33de
T-Silvana	3.17e

Mediás con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales. Tukey ($p \leq 0.05$).

AP por efecto de los cultivares

En la Figura 9 se observa que los valores medios de la altura de los cultivares Dundee y Starbuck fueron estadísticamente iguales, pero diferentes a Silvana, ya que las medias con la misma literal en las barras son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). El cultivar que en promedio obtuvo la mayor altura (m) fue Starbuck con 3.83, seguido de Dundee con 3.68 y finalmente Silvana con 3.31 m.

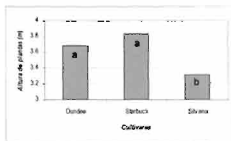


Figura 9. Efecto del factor cultivar en la altura de plantas de tomate bola en un ciclo de producción de cuatro meses y medio en invernadero.

La Figura 10 presenta la influencia de los sustratos en la altura (m) media alcanzada por las plantas: Fibra de coco con 3.73, Perlita con 3.62 y Tezontle con 3.47 m. La prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) no encontró diferencias significativas entre medias.

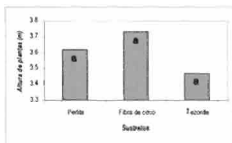


Figura 10. Efecto del factor sustrato en la altura de tres cultivares de tomate boía en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.

AP por efecto de la interacción sustrato x cultivar

En la Figura 11 se presenta una representación gráfica de la interacción S x C para AP, destacándose para mayor altura de plantas el sustrato Fibra de coco en combinación con los híbridos Dundee y Starbuck, así como Perlita con Starbuck, para menor altura de plantas la combinación Tezontle-Silvana.

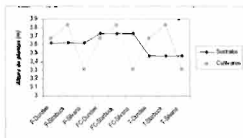


Figura 11. Interacción S x C observada en la altura de plantas de tres cultivares de tomate bola, en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.

El crecimiento de los cultivares de tomate es el resultado de la interacción de diversos factores, entre los que sobresalen el genético y el ambiental, destacando en el presente trabajo el factor cultivar y la interacción sustrato x cultivar.

Calibre Comercial de los Frutos

En el mercado (sobre todo exportación), el tamaño del tomate bola juega un papel importante para determinar el precio y la calidad, siendo los frutos de mayor tamaño los que alcanzan los mejores precios, dada esta situación, se hizo la evaluación del rendimiento para los mejores calibres (súper extra, extra y grande) en los diferentes factores, niveles y tratamientos.

Análisis de varianza para el rendimiento de frutos de mayor calibre comercial

El análisis de varianza para el rendimiento de los frutos de mayor calibre indicó que no existió diferencia significativa para el factor cultivar, ni para la interacción sustrato x cultivar, pero sí para el factor sustrato y los tratamientos (Cuadro 27).

Cuadro 27. Análisis de varianza para el rendimiento de frutos de mayor calibre (super extra, extra y grande) en tomate bola cultivado en invernadero.

CAUSAS	Gl	SC	CM	F	F _{0.05}	F _{0.01}
Tratamientos	8	275.97	34.46	7.91**	2.31	3.25
Factor S	2	238.76	119.38	27.4**	5.55	9.46
Factor C	2	27.24	13.62	3.13	3.35	4.49
Int. S x C	4	9.97	2.42	0.56	2.73	4.11
Error	27	117.64	4.36			
Total	35	302.51				

C.V = 18.33 % ** Diferencia altamente significativa

No se encontraron diferencias significativas para el factor cultivar, apenas sobresaló Starbuck con 73.4 ton ha⁻¹; 10.5 más que Silvana y 10.9 más que Dundee. Los resultados obtenidos difieren del reporte de Jasso *et al.* (2009), quienes encontraron diferencias significativas debidas al factor cultivar en el rendimiento de tomate bola por calidad comercial (super extra, extra y grande).

Calibre comercial de los frutos por efecto de los cultivares

En el Cuadro 28 se pueden observar los rendimientos por calibre comercial de los cultivares.

Cuadro 28. Rendimiento de frutos de tomate bola por calibres comerciales mayores, cultivados en invernadero.

Cultivares	Rendimiento (ton ha ⁻¹)		
	Super extra	Extra	Grande
Dundee	17.0b	20.8a	28.7a
Starbuck	29.0a	25.3a	19.1b
Silvana	12.4b	20.8a	28.7a

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales, Tukey (p < 0.05)

En la Figura 12 se presenta la gráfica del porcentaje de frutos de diversos calibres obtenidos por los cultivares.

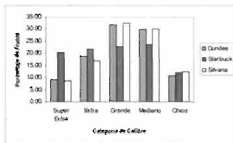


Figura 12. Efecto del factor cultivar en el porcentaje de frutos de tomate bola por calibre comercial, producidos en invernadero.

Calibre comercial de los frutos por efecto de los sustratos

El efecto de los sustratos sobre el calibre comercial de los frutos de acuerdo al ANAVA, mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), manifestándose de la siguiente manera: Tezontle 86.7, Fibra de coco 60.7 y Perlita 51.3 ton ha^{-1} .

El Cuadro 29 muestra que Tezontle es el sustrato que más influyó en los cultivares para obtener los mejores calibres para el mercado con 86.7 ton ha^{-1} , 26 más que Fibra de coco y 35.4 más que Perlita. Estos resultados son similares a los encontrados por Jasso *et al.* (2009), ellos encontraron que en Tezontle se obtuvieron los promedios de rendimiento de tomate bola más altos de las calidades comerciales extra y súper extra.

Cuadro 29. Efecto de los sustratos en el rendimiento de frutos de tomate bola por calibres comerciales mayores, bajo condiciones de invernadero.

Sustratos	Rendimiento (ton ha ⁻¹)		
	Super extra	Extra	Grande
Perlita	13.8b	17.2b	20.3b
Fibra de coco	15.9ab	16.8b	27.9a
Tezontle	25.7a	32.8a	28.2a

Medias con la misma literal en una misma columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \leq 0.05$).

En la Figura 13 se presenta la gráfica del porcentaje de frutos por calibre comercial, obtenidos en los diferentes sustratos.

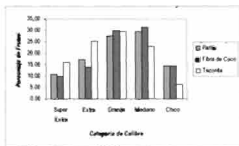


Figura 13. Efecto del factor sustrato en el porcentaje de frutos de tomate bola por calibre comercial, producidos en invernadero.

Calibre comercial de los frutos por efecto de los tratamientos

En los tratamientos se encontró una diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$), influenciada en gran medida por el factor sustrato, siendo el Tezontle el ingrediente que más favoreció la obtención de mayores calibres en los frutos, sus tres

combinaciones resultaron tener los valores más altos: Tezontle-Starbuck con 99.4, Tezontle-Dundee con 81.7 y Tezontle-Silvana con 78.8 ton ha⁻¹

En el Cuadro 30 se observan los tratamientos que obtuvieron los mayores rendimientos en frutos de mayor calibre.

Cuadro 30 Rendimiento de frutos de tomate bola por calibres mayores (súper extra, extra y grande) en los diferentes tratamientos

<i>Tratamientos</i>	<i>Rendimiento (ton ha⁻¹) de frutos de mayor calibre</i>
Tezontle-Starbuck	99.4a
Tezontle-Dundee	81.7ab
Tezontle-Silvana	78.8ab
Fibra de coco-Starbuck	65.4bc
Fibra de coco-Silvana	60.0bc
Fibra de coco-Dundee	56.6bc
Perlita-Starbuck	55.3bc
Perlita-Silvana	49.6c
Perlita-Dundee	49.0c

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales. Tukey (p < 0.05).

Firmeza del Pericarpio de los Frutos

Un factor adicional de aceptación por el consumidor, que está ligado a la evolución de la maduración, es la firmeza o consistencia de los frutos, que es percibida por el tacto entre los dedos y durante la masticación. Se desea que los tomates permanezcan consistentes al alcanzar la coloración de consumo (Riqueime, 2001).

Análisis de varianza para la firmeza de los frutos

En el Cuadro 31 se presentan los resultados de los análisis de varianza para cuatro cortes en los que se determinó la firmeza de los frutos de tomate. El ANAVA muestra para los cortes 3 y 4 diferencias altamente significativas (p < 0.01) entre tratamientos y entre cultivares, significativas (p < 0.05) para la interacción sistrato-

cultivar, así como significativa ($p \leq 0.05$) para el corte 3 y altamente significativa ($p \leq 0.01$) para el corte 4 entre sustratos. En el corte 5 se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos, sustratos e interacción. En el corte 6 se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) únicamente entre cultivares.

Cuadro 31. Resultados de los análisis de varianza para el parámetro firmeza en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, cultivados en invernadero.

Efecto de experimento	Corte 3 ¹⁾ E-4, rojo	Corte 4 E-5, rojo claro	Corte 5 E-6, rojo	Corte 6 E-7, maduro rojo
Tratamientos	4.125 **	8.697 **	1.731 n.s.	12.056 **
Sustrato	3.679 *	16.116 **	0.378 n.s.	29.872 **
Cultivar	6.893 **	12.389 **	5.368 *	1.441 n.s.
Int. S x C	3.183 *	3.148 *	0.290 n.s.	3.454 **
C.V. (%)	7.92	18.22	11.08	41.24

¹⁾ Los datos fueron transformados a $\sqrt{x+1}$ para mejorar la precisión en el análisis (Dodge y Hodge, 1987). E = Estado de madurez, n.s. = No significativo. * = Significativo al 0.05. ** = Significativo al 0.01.

Dinámica de la firmeza de los frutos

La dinámica que presentaron los frutos de tomate para el parámetro firmeza (kg) se observa en la Figura 14. La firmeza (kg) de los frutos de tomate por estado de madurez y por efecto de los tratamientos se presentó de la siguiente manera: En el estadio 4 (rosa) fluctuó entre 2.12 (Tezontle-Starbuck) y 2.51 (Perlita-Starbuck), siendo el promedio 2.33; en el estadio 5 (rojo claro) fluctuó entre 1.44 (Perlita-Starbuck) y 3.02 (Tezontle-Silvana), promedio 2.04; en el estadio 6 (rojo) fluctuó entre 0.78 (Fibra de coco-Starbuck) y 1.89 (Perlita-Silvana), promedio 1.17; en el estadio 7 (maduro rojo) fluctuó entre 0.74 (Tezontle-Starbuck) y 1.33 (Perlita-Silvana), promedio 1.13 kg.

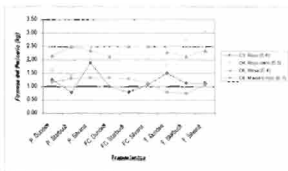


Figura 14. Dinámica de la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bota por efecto de los tratamientos en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Firmeza de los frutos por efecto de los tratamientos

El Cuadro 32 se muestra a los tratamientos que obtuvieron la mayor frecuencia de aparición para el parámetro firmeza, para los cinco niveles mayores de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), estos fueron: Perlita-Silvana (4), Tezontle-Silvana (3), Fibra de coco-Starbuck (2), Fibra de coco-Silvana (2), Perlita-Starbuck (2), Perlita-Duince (2) y Tezontle-Starbuck (2).

Cuadro 32. Prueba de medias para la firmeza de frutos de tomate bola en cuatro estados diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Coto 1 (E-1. Regen)		Coto 4 (E-1. Boro agua)		Coto 6 (E-4. Fypp)		Coto 8 (E-7. Maduro agua)	
	Firmeza (kg)		Firmeza (kg)		Firmeza (kg)		Firmeza (kg)
T-Silvana	1.81a	T-Silvana	1.02a	T-Starbuck	2.51a	T-Dundee	1.11a
T-Dundee	1.49ab	T-Starbuck	2.14ab	PC-Starbuck	2.51a	PC-Dundee	1.10a
T-Dundee	1.27ab	PC-Starbuck	2.16ab	PC-Silvana	2.39a	T-Starbuck	1.11a
T-Silvana	1.12ab	PC-Dundee	2.07a	T-Silvana	2.45a	PC-Starbuck	1.20a
T-Starbuck	1.12ab	T-Silvana	2.02a	T-Silvana	2.39a	T-Dundee	1.15a
PC-Silvana	1.10b	T-Dundee	1.88	T-Dundee	2.29a	PC-Silvana	1.11a
PC-Dundee	0.79b	T-Dundee	1.11a	PC-Dundee	2.16a	T-Silvana	1.07ab
PC-Starbuck	0.79b	PC-Dundee	1.48	PC-Dundee	2.11a	T-Dundee	1.70a
PC-Starbuck	0.79b	PC-Starbuck	1.16a	T-Starbuck	2.12a	T-Starbuck	1.16a

E = Estado de maduración; Medias con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales, Tukey (p < 0.05).

Firmeza de los frutos por efecto de los cultivares.

Silvana obtuvo los frutos más firmes (kg), con un promedio de 1.84, seguido de Starbuck con 1.63, y finalmente Dundee con 1.53 kg. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2008) la dureza del tomate es un factor muy importante en la manipulación y el transporte de frutos, situación que coloca a los frutos del híbrido Silvana con buenas características para soportar un manejo postcosecha deficiente.

En la Figura 15 se observa que las medias con la misma literal en las barras son estadísticamente iguales, por lo tanto, el valor medio de la firmeza del cultivar Silvana fue estadísticamente diferente a los valores medios de Dundee y Starbuck (Tukey, p < 0.05).

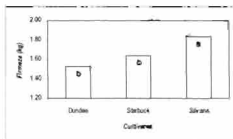


Figura 15. Efecto del factor cultivar en la firmeza del pericarpio de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

El efecto de los cultivares en la dinámica de la firmeza y su relación con los estados de madurez de los frutos se presenta en la Figura 16.

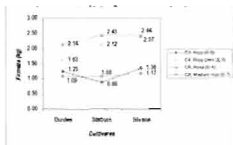


Figura 16. Dinámica del efecto de los cultivares en la firmeza del pericarpio de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

Firmeza de los frutos por efecto de los sustratos

El efecto de los sustratos sobre la firmeza de los frutos de tomate se aprecia en la Figura 17. De acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), los promedios de la firmeza de los frutos por efecto de los sustratos son iguales, sin embargo, el sustrato que más influyó para que los frutos tuvieran la firmeza (kg) más alta, fue el Tezontle con un promedio en los cuatro cortes de 1.73, posteriormente Perlita con 1.65, y finalmente la Fibra de coco con 1.62 kg. Estos resultados tienen similitud con los obtenidos por Jasso *et al.* (2009), ellos indican que el Tezontle influyó para que los frutos de tomate bola tuvieran el promedio más alto de firmeza con un valor de 2.33, posteriormente la fibra de coco con 2.15 y finalmente Perlita con 2.13 kg.

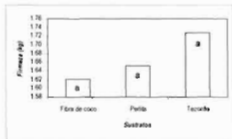


Figura 17. Efecto del factor sustrato en la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

El efecto de los sustratos en la dinámica de la firmeza y su relación con los estados de madurez de los frutos se presenta en la Figura 18.

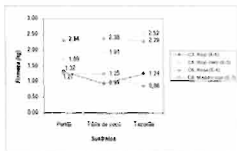


Figura 18. Dinámica del efecto de los sustratos en la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola, en condiciones de invernadero.

El análisis de la firmeza y su relación con los estados de madurez de los frutos (Figuras 16 y 18), indicó que en el estadio 4 (rosa) la firmeza tuvo un valor promedio de 2.33, en el estadio 5 (rojo claro) de 2.04, en el estadio 6 (rojo) de 1.17 y en el estadio 7 (maduro rojo) de 1.13 kg.

Firmeza de los frutos por efecto de la Interacción sustrato x cultivar

Con la finalidad de percibir de manera general la interacción sustrato x cultivar, a continuación se presenta la Figura 19 en la cual se observan las interacciones, entre las que destacan: a) Para una mayor firmeza del fruto, las combinaciones del híbrido Silvana con los sustratos Tezontle y Perlita; y b) Para una menor firmeza del fruto, las combinaciones del híbrido Dundee con Fibra de coco y Perlita.

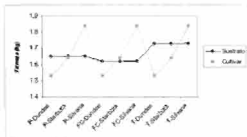


Figura 19. Interacción S x C de la firmeza del pericarpio de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Se observó que la firmeza de los frutos de tomate está determinada por varios factores, entre los que sobresalen el genético (cultivar) y el ambiental (sustratos, nutrición, etc.), así como la interacción de estos factores, al respecto Sánchez *et al.* (2008) mencionan que en general, el mayor referente de calidad lo da el tipo varietal y no la localidad donde se cultiva, salvo el carácter de dureza de fruto que también se ve afectado por la localidad.

Evaluación del Peso Específico de los Frutos

El tamaño y la forma se reflejan en el volumen, que expresado en función del peso (masa) constituyen la densidad ($g\ cm^{-3}$). Este cociente es muy útil para la determinación del grado de madurez de algunos productos (Wills *et al.* 1998).

Análisis de varianza para el peso específico de los frutos

En el Cuadro 33 se presentan los resultados de los análisis de varianza para los tres cortes en que se llevó a cabo el análisis del peso específico de los frutos de tomate. El ANAVA no encontró diferencias significativas para tratamientos, sustratos, cultivares e interacción, en dos de los tres cortes (C4 y C6), pero en el corte 8 encontró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). Al realizar el ANAVA general se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para

tratamiento

cultivares.

Cuadro 32. Resultados de los análisis de varianza para el peso específico de frutos de tomate bola en tres estados diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Fuente de variación	Cuarto 4 (E-3) Rosa claro	Cuarto 6 (E-4) Rosa	Cuarto 8 (E-7) Maduro rojo
Tratamiento	0.512 n.s.	0.813 n.s.	20.273 **
Sustrato	0.394 n.s.	0.117 n.s.	27.176 **
Cultivar	0.746 n.s.	0.930 n.s.	18.203 **
Interacción S x C	0.469 n.s.	1.092 n.s.	17.757 **
C.V. (%)	8.31	7.28	8.36

E = Estado de maduración; n.s. = No significativo, * = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01.

Dinámica del peso específico de los frutos

En la Figura 20 se observa la dinámica que presentaron los frutos de tomate con relación al peso específico (g cm^{-3}). Para el estado 4 (rosa) el valor mínimo fue 0.89 (Fibra de coco-Silvana), el máximo 1.00 (Fibra de coco-Starbuck) y el promedio 0.944. Para el estado 5 (rojo claro) el mínimo 0.956 (Fibra de coco-Starbuck), el máximo 1.031 (Tezontle-Starbuck) y el promedio 0.984. Para el estado 7 (maduro rojo) el mínimo 0.932 (Tezontle-Starbuck), el máximo 1.144 (Tezontle-Silvana) y el promedio 1.061.

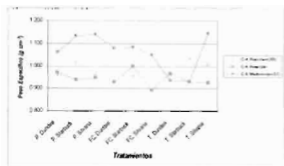


Figura 20. Efecto de los tratamientos en el peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Peso específico de los frutos por efecto de los tratamientos

El Cuadro 34 muestra la frecuencia con que aparecen los tratamientos por niveles en la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), observándose para los cinco niveles más altos de peso específico, la siguiente frecuencia de aparición de los tratamientos: Perlita-Starbuck (3), Tezontle-Silvana (2), Perlita-Silvana (2), y Fibra de coco-Starbuck (2).

Cuadro 34. Resultados de las pruebas de medias para el peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Corte 4 (E-1. Roca cianca)		Corte 5 (E-2. Roca)		Corte 6 (E-7. Maturo rojo)	
Tratamiento	Peso esp. (g cm ⁻³)	Tratamiento	Peso esp. (g cm ⁻³)	Tratamiento	Peso esp. (g cm ⁻³)
T-Starbuck	1.021a	FC-Starbuck	1.000a	T-Silvana	1.044a
P-Starbuck	1.014a	F-Dundee	0.971a	P-Silvana	1.129a
T-Silvana	1.008a	T-Dundee	0.965a	P-Starbuck	1.131ab
FC-Silvana	0.997a	F-Silvana	0.949a	FC-Starbuck	1.054b
FC-Dundee	0.950a	F-Starbuck	0.938a	FC-Dundee	1.080ab
P-Silvana	0.964a	T-Starbuck	0.930a	P-Dundee	1.061ab
T-Dundee	0.956a	FC-Dundee	0.929a	FC-Silvana	1.048b
F-Dundee	0.959a	T-Silvana	0.925a	T-Dundee	0.935a
FC-Starbuck	0.956a	FC-Silvana	0.893a	T-Starbuck	0.932a

E = Estado de maduración; Medias con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes, Tukey (p < 0.05).

Peso específico de los frutos por efecto de los cultivares

En el Cuadro 35 se muestra el comportamiento general de los pesos específicos de los tres cultivares, puede apreciarse que el híbrido que obtuvo los frutos con pesos específicos más altos fue Silvana con 1.007, después Starbuck con 1.002 y finalmente Dundee con 0.980 g cm⁻³.

Cuadro 35. Efecto general de los cultivares en el peso específico de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

Cultivar	Peso específico (g cm ⁻³) promedio
Silvana	1.007b
Starbuck	1.002ab
Dundee	0.980a

Medias con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales, Tukey (p < 0.05).

En la Figura 21 se aprecia la dinámica del peso específico de los frutos de tomate en tres estadios de maduración por efecto de los cultivares.

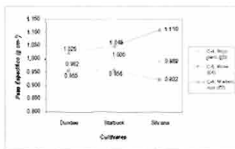


Figura 21. Efecto de los cultivares en la dinámica del peso específico de frutos de tomate bota en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Peso específico de los frutos por efecto de los sustratos

En el Cuadro 36 se aprecia el efecto de los sustratos sobre el peso específico de los frutos de tomate, presentándose de la siguiente manera: Perlita influyó para la obtención de los pesos específicos más altos, obteniendo un promedio de 1.014, posteriormente Fibra de coco con 0.995 y finalmente Tezontle con 0.981 g cm^{-3} .

Cuadro 36. Efecto general de los sustratos en el peso específico de frutos de tomate bota cultivados en invernadero.

Sustrato	Peso Específico (g cm^{-3}) Promedio
Perlita	1.014a
Fibra de coco	0.995ab
Tezontle	0.981b

Medias con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

En la Figura 22 se observa la dinámica del efecto de los sustratos sobre el peso específico de frutos de tomate en tres estadios de maduración.

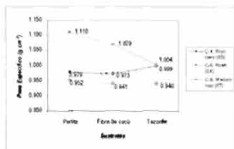


Figura 22. Efecto de los sustratos en la dinámica del peso específico de frutos de tomate bola en tres estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

En general la relación del peso específico (g cm^{-3}) con el estadio de maduración del fruto de tomate se presentó de la siguiente manera (Figuras 21 y 22). En el estadio 4 (Rosa) se obtuvo un promedio de 0.944, en el estadio 5 (rojo claro) 0.984, y en el estadio 7 (maduro rojo) 1.061 g cm^{-3} .

De acuerdo a los resultados del ANAVA por corte, se considera necesario hacer el análisis en un mayor número de cortes para tener mayor confiabilidad en los efectos de los factores y su interacción, ya que el peso específico de los frutos es un buen índice de cosecha y calidad.

Determinación del Color de los Frutos

Con base en la comparación de los colores de los frutos de tomate con la carta de colores de McGlasson. Beattie and Kavanagh, 1985; citados por Wills *et al.* 1998; de manera general se obtuvieron cuatro estadios de maduración (E) para los cuatro

cortes (C) sometidos a esta evaluación. Los estadios obtenidos fueron: C3 = E-6 (Rojo), C4 = E-5 (Rojo claro), C6 = E-4 (Rosa), y C8 = E-7 (Maduro rojo).

Utilizando el espectrofotómetro Minolta CM-2500d y el sistema CIELAB, se obtuvo la luminosidad (L^*) y las coordenadas de cromaticidad (a^* y b^*), a continuación se presentan los resultados.

Luminosidad (L^*)

La luminosidad nos indica la claridad u oscuridad de los colores, en este caso la brillantez de los colores de los tomates, que para los consumidores puede representar la aceptación o el rechazo del tomate. El valor de la luminosidad oscila entre 0-100 que son los valores para el negro y el blanco respectivamente.

Análisis de varianza para la luminosidad de los frutos

En el Cuadro 37 se presentan los resultados del análisis de varianza para cuatro cortes en que se llevo a cabo la determinación de la luminosidad (L^*) de los frutos de tomate. En general los resultados del ANAVA muestran homogeneidad para los cortes 3, 4 y 8, observándose diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos y entre cultivares, entre sustratos también hay diferencias, siendo altamente significativa ($p < 0.01$) en el corte 4, con respecto a la interacción existe diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) en el corte 8, significativa ($p < 0.05$) en el corte 3 y en el corte 4 no hay diferencia. En el corte 6 se únicamente se encontró diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre cultivares.

Cuadro 37. Resultados de los análisis de varianza para la luminosidad de los frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Fuente de Variación	C2, E6	C4, E-5	C6, E-4	C8, E-7
Tratamientos	4.901 **	10.156 **	2.242 n.s.	0.830 **
Sustrato	4.604 *	9.046 **	0.864 n.s.	4.095 *
Cultivar	7.530 **	26.504 **	6.443 **	12.700 **
Int. S x C	2.480 *	2.606 n.s.	0.842 n.s.	10.963 **
C.V. (%)	2.40	1.30	3.14	2.15

E = Estado de maduración, * = Certe (coche), n.s. = No significativo, * = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01.

Dinámica de la luminosidad de los frutos

En la Figura 23 se observa que los valores de luminosidad más altos se obtuvieron en etapas tempranas de maduración. Para el estado 4 (rojo) los valores fluctuaron entre 44.788 (Tezontle-Starbuck) y 54.155 (Fibra de coco-Silvana) siendo el promedio 50.251. Para el estado 5 (rojo claro) 44.236 (Perlita-Dundee) y 52.869 (Tezontle-Silvana), promedio 47.111. Para el estado 6 (rojo) 39.370 (Perlita-Dundee) y 43.450 (Tezontle-Silvana), promedio 41.468. Para el estado 7 (maduro rojo) 37.580 (Fibra de coco-Silvana) y 41.550 (Fibra de coco-Dundee), promedio 39.397. Los resultados son similares a los reportados por Zapata *et al.* (2007) para diferentes etapas de desarrollo de frutos de tomate etapa de crecimiento 62.11 ± 2.17 , etapa de almacenamiento 56.02 ± 4.40 , etapa de maduración 41.86 ± 3.33 y etapa de comercialización 41.09 ± 3.37 .

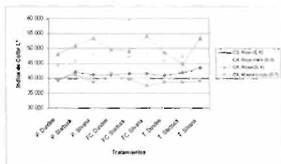


Figura 23. Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color L^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Luminosidad de los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 38 se presentan los tratamientos en forma decreciente de acuerdo al valor promedio de luminosidad de los frutos, observándose en los primeros cinco niveles de la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) una mayor frecuencia de aparición de Tezontle-Silvana (4), Fibra de coco-Silvana (3), Perlita-Starbuck (3), y Fibra de coco-Starbuck (3).

Cuadro 38. Resultados por corte de las pruebas de medias para la luminosidad (L*) de frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero

Corte 1 (E=1.000)		Corte 2 (E=1.000)		Corte 3 (E=1.000)		Corte 4 (E=1.000)	
Treatmento	Valor L*	Treatmento	Valor L*	Treatmento	Valor L*	Treatmento	Valor L*
T-Silvana	43.480a	T-Silvana	42.300a	FC-Silvana	44.130a	FC-Dundee	41.250a
P-Starbuck	42.130a	FC-Silvana	48.100a	T-Silvana	53.900a	P-Starbuck	41.230a
T-Starbuck	43.980a	P-Silvana	47.600a	P-Silvana	53.400a	P-Dundee	39.950a
FC-Silvana	41.480a	T-Starbuck	47.800a	P-Starbuck	50.900a	FC-Starbuck	39.980a
FC-Starbuck	41.490ab	FC-Starbuck	47.070a	FC-Dundee	49.580a	T-Silvana	39.880a
P-Silvana	41.210ab	P-Starbuck	49.770a	P-Starbuck	49.100a	T-Starbuck	39.750a
FC-Dundee	41.170ab	T-Dundee	41.700a	T-Dundee	49.710a	T-Dundee	38.880a
T-Dundee	40.800ab	FC-Dundee	44.800a	P-Dundee	48.750a	P-Silvana	38.150a
P-Dundee	39.370a	P-Dundee	44.230a	T-Starbuck	44.780a	FC-Silvana	37.380a

E = Estado de maduración. Valores medios con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$)

En el Cuadro 39 aparecen los promedios generales de los valores de L* obtenidos por los tratamientos con sus respectivas comparaciones estadísticas, destacando en la producción de frutos con más brillo, el híbrido Silvana en combinación con los tres sustratos, siendo su mejor combinación con Tezontle.

Cuadro 39. Resultado de la prueba de medias en tratamientos, para los promedios generales de luminosidad (L*) de frutos de tomate bola, cultivados en invernadero.

Treatmentos	Promedio de Luminosidad (L*)
T-Silvana	47.252a
FC-Silvana	45.329ab
P-Silvana	45.319ab
P-Starbuck	44.992ab
FC-Starbuck	44.297ab
FC-Dundee	44.293ab
T-Dundee	43.820b
T-Starbuck	43.221b
P-Dundee	42.805b

Medias con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales, Tukey ($p \geq 0.05$)

Luminosidad de los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general (promedio de cuatro cortes) de los factores en sus tres niveles con respecto a la brillantez de los frutos de tomate se aprecia en el Cuadro 40. En el ANAVA general el factor cultivar resultó altamente significativo ($p < 0.01$), y en la prueba de medias (Tukey, $p < 0.01$) el híbrido Silvana obtuvo los frutos más brillantes; en lo que respecta al factor sustrato, éste no fue significativo y los efectos de los sustratos sobre el brillo de los frutos fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 40. Resultado general de la prueba de medias en factores y niveles, para la luminosidad de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Factores y Niveles	Medias Generales
<i>Cultivar</i>	<i>Luminosidad (I.%)</i>
Silvana	45.06a
Starbuck	44.17b
Dundee	42.54b
<i>Sustrato</i>	<i>Luminosidad (I.%)</i>
Terontle	44.66a
Fibra de coco	44.64a
Perlita	44.37a

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p < 0.05$).

Luminosidad de los frutos por efecto de la interacción sustrato x cultivar

La Figura 24 representa las interacciones de los factores en sus diferentes niveles, con respecto a la luminosidad de los frutos, observándose lo siguiente: a) El comportamiento de los sustratos con respecto a la influencia en la brillantez de los frutos no mostró grandes diferencias, estando ligeramente abajo Perlita, b) Los cultivares presentaron una mayor diferencia en sus valores; c) El híbrido Silvana produjo los frutos más brillantes; d) El cultivar Dundee produjo los frutos menos

brillantes, destacándose en este aspecto su combinación con Perlita; e) Los frutos más brillantes se obtuvieron con la combinación Tezontle-Silvana.

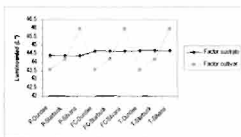


Figura 24. Interacción S x C observada en la luminosidad de los frutos de tomate, en un ciclo de producción de cuatro meses y medio, bajo condiciones de invernadero.

Con base en los resultados, la brillantez de los frutos está muy ligada al factor genético, existiendo interacciones con el medio, sobretodo en este caso, con el factor sustrato.

Tonalidad entre el verde y el rojo (índice de color a^*) en los frutos

En un diagrama de cromaticidad $+a^*$ representa la dirección del rojo, mientras que $-a^*$ representa la dirección del verde, de manera que este índice de color es fundamental para caracterizar el estado de madurez de los tomates, ya que si a^* presenta valores negativos el fruto tendrá un color verde, y en la medida en que los incrementa de manera positiva será más rojo el fruto.

De acuerdo con Wills *et al.* (1998) la desaparición del color verde constituye un buen índice del grado de madurez en numerosos frutos, como en el caso del tomate, en este fruto inicialmente se produce una pérdida gradual de la intensidad del color verde oscuro, hasta alcanzar una tonalidad más clara que llega a perderse totalmente.

dando p_1
en rojo.

Análisis de varianza para el índice de color a^*

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 41) realizado en cuatro cortes para determinar el índice de color a^* de frutos de tomate, muestran similitud de resultados para los cortes 3, 4 y 8, ya que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y entre cultivares, entre sustratos también hay diferencias, presentándose altamente significativa ($p \leq 0.01$) en el corte 8, con respecto a la interacción únicamente se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el corte 3. En el corte 6 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) únicamente entre cultivares, y se obtuvo un coeficiente de variación muy alto, debido posiblemente a las unidades de color negativas que se obtuvieron en este corte, aplicándose la metodología descrita por Little y Hills (1985) para normalizar datos y hacer que las varianzas puedan hacerse relativamente independientes de las medias a través de su transformación a raíces cuadradas, de esta manera se incrementa la precisión para medir sobretodo medias pequeñas.

Cuadro 41. Resultados de los análisis de varianza para el índice de color a^* en frutos de tomate roja, cultivados en invernadero.

Fuente de Variancia	C3, E-6	C4, E-5	C6, E-4 ¹⁾	C8, E-7
Tratamiento	4.848 **	4.021 **	4.464 n.s.	7.991 **
Sustrato	2.931 *	3.537 *	0.851 n.s.	12.932 **
Cultivar	11.369 **	11.322 **	4.452 *	15.898 **
Int. S y C	2.541 *	0.613 n.s.	0.277 n.s.	1.566 n.s.
C.V. (%)	8.54	10.24	41.53	4.26

¹⁾ Los datos se transformaron en $\sqrt{a^* + 10}$. E = Estado de maduración, C = Corte (cosecha), n.s. = No significativo, * = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01

Dinámica de la tonalidad verde a rojo de los frutos

En la Figura 25 se observa que los valores más bajos del índice de color a^* se obtuvieron en etapas tempranas de maduración y viceversa. En el estadio 4 (trose) el mínimo fue de -7.051 (Perlita-Starbuck), el máximo 4.749 (Tezontle-Dundee), y el promedio -1.780. En el estadio 5 (rojo claro) el mínimo fue de 4.165 (Tezontle-Silvana), el máximo 14.093 (Perlita-Dundee), y el promedio 9.378. En el estadio 6 (rojo) el mínimo fue 18.240 (Perlita-Starbuck), el máximo 23.23 (Fibra de coco-Silvana), y el promedio 20.544. En el estadio 7 (maduro rojo) el mínimo fue de 23.491 (Fibra de coco-Starbuck), el máximo 28.034 (Tezontle-Dundee), y el promedio 25.961. Los valores encontrados son semejantes a los reportados por Zapata *et al.* (2007) para diversas etapas del desarrollo del fruto de tomate: etapa de crecimiento -9.94 ± 1.63 , etapa de almacenamiento 2.98 ± 3.56 , etapa de maduración 19.50 ± 3.73 y etapa de comercialización 19.22 ± 2.98 .

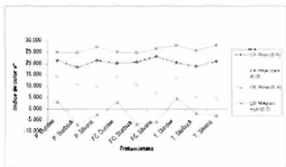


Figura 25. Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color a^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Tonalidad verde a rojo de los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 42 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para el índice de color a^* en cuatro estadios diferentes de madurez de los

frutos de tomate, se observa que los tratamientos que aparecen con más frecuencia en los cinco niveles superiores son: Perita-Silvana (4), Tezontle-Dundee (3), Perita-Dundee (3), Fibra de coco-Silvana (2), Tezontle-Silvana (2), Fibra de coco-Dundee (2) y Tezontle-Starbuck (2).

Cuadro 42: Resultados por corte de las pruebas de medias realizadas en tratamientos para el índice de color a^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Corte 1 (E=1, F=1)		Corte 2 (E=2, F=1)		Corte 3 (E=3, F=1)		Corte 4 (E=4, F=1)	
Treatmento	Valor a^*	Treatmento	Valor a^*	Treatmento	Valor a^*	Treatmento	Valor a^*
FC-Silvana	21.25a	F-Dundee	14.97a	T-Dundee	4.78a	T-Dundee	28.17a
F-Dundee	21.15ab	FC-Dundee	11.07a	F-Dundee	3.66a	T-Silvana	27.87a
F-Silvana	21.34ab	T-Dundee	13.27ab	FC-Dundee	2.82a	F-Silvana	27.38ab
T-Silvana	20.97ab	F-Starbuck	11.27ab	T-Starbuck	4.22a	FC-Starbuck	26.47ab
FC-Starbuck	20.97ab	T-Silvana	9.37ab	F-Silvana	2.33a	T-Starbuck	27.71ab
T-Dundee	20.97ab	FC-Starbuck	7.67ab	T-Silvana	4.87ab	F-Dundee	27.11ab
FC-Dundee	20.92a	FC-Silvana	7.97ab	FC-Silvana	4.36a	FC-Dundee	26.32ab
T-Starbuck	18.78a	F-Starbuck	4.57a	FC-Starbuck	4.97a	F-Starbuck	24.78ab
F-Starbuck	18.24a	T-Silvana	4.16a	F-Starbuck	3.07a	FC-Starbuck	23.47a

E = Estado de maduración. Valores medios con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales. Tukey (p < 0.05).

En el Cuadro 43 aparece el promedio de los tratamientos con sus respectivos igualdades y diferencias estadísticas, destacando en la producción de frutos más rojos el híbrido Dundee en combinación con los tres sustratos, siendo su mejor combinación con Tezontle.

Cuadro 43 Resultado de la prueba de medias en tratamientos para los promedios generales del índice de color a*, en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

<i>Tratamientos</i>	<i>Promedio índice de Color a*</i>
T-Dundee	16.612a
P-Dundee	15.890ab
FC-Dundee	15.360ab
P-Silvana	13.928ab
FC-Silvana	12.753ab
T-Silvana	12.512ab
T-Starbuck	11.978ab
P-Starbuck	11.591ab
FC-Starbuck	11.258

Promedios con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales. Tukey (p < 0.05).

Tonalidad verde a rojo de los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general de los factores en sus tres niveles con respecto al cambio de coloración de verde a rojo en los frutos de tomate se aprecia en el Cuadro 44. El ANAVA general para el factor cultivar resultó altamente significativo ($p < 0.01$), el híbrido Dundee promedió los frutos más rojos. El factor sustrato no fue significativo y los efectos de los sustratos sobre el cambio de color de los frutos de verde a rojo fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 44 Resultado general de prueba de medias en factores y niveles para el índice de color a*, en frutos de tomate bola cultivados en invernadero

Factores y Niveles	Medias Generales
<i>Cultivar</i>	<i>Índice de Color a*</i>
Durón	15.95a
Silvana	13.07b
Starbuck	11.55b
<i>Sustrato</i>	<i>Índice de Color a*</i>
Perita	13.81a
Tecotitl	13.69a
Fibra de coco	13.08a

Medias con igual letra dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey (p < 0.05)

Tonalidad entre el azul y el amarillo (índice de color b*) en los frutos

El índice de color b* señala la dirección del color ya sea hacia el azul (-b*) o hacia el amarillo (+b*).

Análisis de varianza para el índice de color b*

Los resultados de los análisis de varianza (Cuadro 45) realizados en los cuatro cortes en que se llevó a cabo la determinación del índice de color b* de los frutos de tomate, muestran un comportamiento similar para los cortes 3 y 8, existiendo diferencias altamente significativas (p < 0.01) entre tratamientos y entre cultivares, entre sustratos y entre interacción también hay diferencias, presentándose altamente significativas (p < 0.01) en el corte 8. En el corte 4 existen diferencias altamente significativas (p < 0.01) entre tratamientos y sustratos. En el corte 6 se encontraron diferencias significativas (p < 0.05) para tratamientos e interacción.

Cuadro 45. Resultados de los análisis de varianza para el índice de color b^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero

Fuente de variación	CS, E-4	CS, E-5	CS, E-6	CS, E-7
Tratamientos	47.038 **	31.950 **	2.540 ns	9.775 **
Sustrato	59.266 *	42.610 **	1.376 ns	19.585 **
Cultivar	111.185 **	3.126 ns	2.987 ns	17.282 **
Int. S x C	8.850 *	1.622 ns	2.900 *	5.622 **
C.V. (%)	2.33	3.52	13.33	4.41

E = Estado de maduración, C = Cultivar (cultivos), ns = No significativo, * = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01

Dinámica de la tonalidad azul-amarillo de los frutos

En la Figura 26 se observa que no hay mucha diferencia entre los valores de b^* de los distintos tratamientos y etapas de maduración de los frutos de tomate. En el estadio 4 (rosa) el valor mínimo fue de 18.650 (Tezontle-Starbuck), el máximo de 24.966 (Tezontle-Dundee) y el promedio 21.397. En el estadio 5 (rojo claro) el mínimo fue de 19.352 (Fibra de coco-Starbuck), el máximo 25.072 (Tezontle-Starbuck) y el promedio 21.651. En el estadio 6 (rojo) el mínimo fue de 21.811 (Perlita-Dundee), el máximo de 27.207 (Tezontle-Silvana) y el promedio 23.718. En el estadio 7 (maduro rojo) el mínimo fue de 19.346 (Tezontle-Starbuck), el máximo de 24.639 (Perlita-Silvana) y el promedio 22.401. Zapata *et al.* (2007) encontraron valores similares para diferentes etapas de maduración del tomate, etapa de crecimiento 20.40 ± 3.33 , etapa de almacenamiento 23.28 ± 3.99 , etapa de maduración 29.20 ± 5.16 y etapa de comercialización 20.93 ± 2.65 .

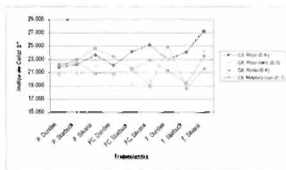


Figura 26. Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color b^* en frutos de tomate en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Tonalidad azul-amarillo de los frutos por efecto de los tratamientos

La prueba de medias para el índice de color b^* en frutos de tomate (Cuadro 46) expone a los tratamientos que presentaron la mayor frecuencia de aparición en los cinco niveles más altos de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), estos fueron: Tezontle-Silvana (4), Perlita-Silvana (3), Perlita-Starbuck (3), Tezontle-Dundee (2), Tezontle-Starbuck (2), Fibra de coco-Silvana (2) y Fibra de coco-Starbuck (2).

Cuadro 46. Resultados por corte de la prueba de medias practicada al índice de color b* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Corte 1 (E-1. Fibra)		Corte 2 (E-2. Fibra plana)		Corte 3 (E-3. Fibra)		Corte 4 (E-4. Madero rojo)	
Treatmento	Media Valor b*	Treatmento	Media Valor b*	Treatmento	Media Valor b*	Treatmento	Media Valor b*
T-Silvana	27.207a	T-Starbuck	23.472a	T-Chander	24.965a	T-Silvana	24.645a
FC-Silvana	23.161b	T-Silvana	24.276ab	T-Starbuck	22.951ab	T-Silvana	27.456ab
FC-Starbuck	24.165b	T-Dundee	21.176ab	T-Dundee	22.777ab	FC-Dundee	23.596ab
T-Dundee	24.151bc	T-Silvana	21.076ab	T-Silvana	21.677ab	T-Starbuck	23.496ab
T-Silvana	23.624c	FC-Starbuck	23.472ab	FC-Starbuck	21.527ab	FC-Silvana	22.496ab
T-Chander	23.977c	T-Dundee	21.641ab	T-Silvana	20.951ab	T-Dundee	21.076ab
FC-Starbuck	22.275bc	FC-Dundee	19.924a	FC-Dundee	20.892ab	FC-Starbuck	21.496ab
FC-Dundee	22.096bc	FC-Silvana	19.362a	FC-Silvana	18.967a	T-Chander	21.326ab
T-Dundee	21.811c	FC-Starbuck	19.022a	T-Starbuck	18.192a	T-Starbuck	19.196a

E = Estado de maduración. Valores medios con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05)

En el Cuadro 47 aparecen las comparaciones de los promedios generales de los tratamientos para el índice de color b*, observándose que los tratamientos compuestos por Tazontle interaccionaron bien con los cultivares Silvana y Dundee para producir los frutos más amarillos, en tanto que la Fibra de coco en combinación con los tres cultivares influyó para producir los frutos menos amarillos.

Cuadro 47. Resultados de la prueba de medias en tratamientos, para los promedios generales del índice de color b*, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Treatmento	Medias de Índice de Color b*
T-Silvana	24.145a
T-Dundee	23.103ab
P-Silvana	22.805ab
P-Starbuck	22.149b
T-Starbuck	21.810b
P-Dundee	21.706b
FC-Silvana	21.672b
FC-Starbuck	21.659b
FC-Dundee	21.581b

Medias con igual literal en una columna no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05)

Tonalidad azul-amarillo de los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general de los factores en sus tres niveles con respecto a la intensidad de color amarillo y sus posibles fluctuaciones amarillo-azul, en los frutos de tomate, se aprecia en el Cuadro 48. El ANAVA general para el factor cultivar resultó altamente significativo ($p < 0.01$), el híbrido Silvana promedió los frutos más amarillos. El factor sustrato también resultó altamente significativo ($p < 0.01$). Tezontle tuvo una mayor influencia en la obtención de frutos más amarillos.

Cuadro 48 Prueba general de medias en factores y niveles para el índice de color b^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

<i>Factores y Niveles</i>	<i>Medias Generales</i>
<i>Cultivar</i>	<i>Índice de Color b^*</i>
Silvana	22.87 _a
Dundee	22.13 _b
Starbuck	21.87 _b
<i>Sustrato</i>	<i>Índice de Color b^*</i>
Tezontle	23.02 _a
Perifia	22.22 _b
Fibra de coco	21.64 _b

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p < 0.05$)

Tonalidad azul-amarillo de los frutos por efecto de la interacción sustrato x cultivar

Con respecto a la interacción S x C, en la siguiente Figura 27 se representan gráficamente las interacciones, observándose lo siguiente: En Tezontle se obtienen los frutos más amarillos y en fibra de coco menos amarillos. Los frutos más amarillos se dieron en la combinación Tezontle-Silvana. El sustrato Fibra de coco en combinación con los híbridos Starbuck y Dundee producen los frutos menos amarillos. La interacción Perifia-Silvana incrementa el color amarillo de los frutos.

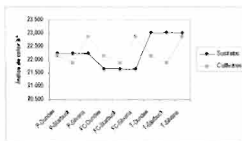


Figura 27. Representación gráfica de la interacción S x C observada en el índice de color b^* , de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Relación entre tonalidades verde-rojo y azul-amarillo (índice de color a^*/b^*) en los frutos

Zapata *et al.* (2007) señalan que puede resultar conveniente tomar como índice de color para predecir las etapas de maduración del tomate, la relación (ratio) a^*/b^* , ya que señala diferencias significativas entre los estadios de maduración, y además pone de manifiesto la presencia del color verde en los frutos.

Análisis de varianza para la relación a^*/b^*

En el Cuadro 49 se presenta el análisis de varianza para cuatro cortes en que se llevó a cabo el análisis del índice de color a^*/b^* en los frutos de tomate. Para tratamientos y sustratos solamente el corte 6 fue no significativo, todos los demás resultaron altamente significativos ($p \leq 0.01$). En el renglón de cultivares los cortes 3 y 4 fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$), el corte 6 fue significativo ($p \leq 0.05$) y el corte 8 resultó no significativo. En el renglón de la interacción sustrato x cultivar el corte 8 fue altamente significativo ($p \leq 0.01$), el corte 3 mostró ser significativo ($p \leq 0.05$) y los cortes 4 y 6 no fueron significativos.

Cuadro 49. Resultados por corte de los análisis de varianza para la relación a^*/b^* en frutos de tomate bola en cuatro estados diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Fuente de variación	CS	ES	CS-E-S ¹	CS-E-S ²	CS-E-S ³
Tratamientos	7.935 **	8.055 **	1.576 n.s.	13.200 **	13.200 **
Sustrato	12.200 **	6.772 **	0.948 n.s.	40.317 **	40.317 **
Cultivar	12.882 **	10.345 **	4.444 *	1.437 n.s.	1.437 n.s.
Interacción	2.822 *	0.121 n.s.	0.457 n.s.	3.941 **	3.941 **
C.V. (%)	5.75	5.49	10.22	4.83	4.83

¹ Los datos se transformaron a $\sqrt{X+1}$, E = Estado de maduración, CS = Corte concha; n.s. = No significativo, * = Significativo al 0.05, ** = Significativo al 0.01.

Dinámica de la relación a^*/b^* de los frutos

La Figura 28 muestra la variación de la relación a^*/b^* con respecto a las etapas de maduración de los frutos, una interpretación general es la siguiente: En el estado 4 (rosa) fluctúa de -0.313 (Perlita-Starbuck) a 0.168 (Tezonfle-Dundee), con un promedio de -0.084. En el estado 5 (rojo claro) de 0.167 (Tezonfle-Silvana) a 0.684 (Fibra de coco-Dundee), promedio 0.438. En el estado 6 (rojo) de 0.768 (Tezonfle-Silvana) a 0.981 (Perlita-Dundee), promedio 0.868. En el estado 8 (maduro rojo) de 1.070 (Perlita-Silvana) a 1.333 (Tezonfle-Starbuck), promedio 1.160. Teot et al. (2006) citados por Zapata et al. (2007) mencionan haber encontrado valores de a^*/b^* de 1.19 para tomates maduros, cifra similar a los valores obtenidos en el presente estudio.

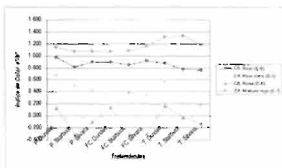


Figura 28. Efecto de los tratamientos en la dinámica del índice de color a^*b^* en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Relación a^*b^* por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 50 se observan los tratamientos que se presentaron con mayor frecuencia en los cinco niveles más altos de la prueba de medias para la relación a^*b^* , estos fueron: Tezontle-Dundee (4), Perlita-Dundee (4), Fibra de coco-Dundee (3), Perlita-Silvana (3), Tezontle-Starbuck (2) y Fibra de coco-Silvana (2).

Cuadro 50. Resultados por corte de la prueba de medias realizada a la relación a^*b^* de frutos de tomate bola, cultivados en invernadero.

Corte 1 (E-1: Fibra)		Corte 2 (E-2: Fibra clara)		Corte 3 (E-3: Fibra)		Corte 4 (E-4: Madurez roja)	
Tratamiento	Valor a^*b^*	Tratamiento	Valor a^*b^*	Tratamiento	Valor a^*b^*	Tratamiento	Valor a^*b^*
F-Dundee	1.991a	FC-Dundee	1.086a	F-Dundee	2.458a	F-Starbuck	1.325a
FC-Silvana	0.923ab	F-Dundee	1.086a	FC-Dundee	1.142a	F-Dundee	1.311ab
FC-Dundee	0.956ab	F-Dundee	0.375a	F-Dundee	0.126a	F-Silvana	1.187a
F-Silvana	0.903ab	F-Starbuck	0.498a	F-Starbuck	4.023a	FC-Silvana	1.119a
F-Dundee	0.807abc	F-Silvana	1.425a	F-Silvana	4.105a	FC-Dundee	1.138a
FC-Starbuck	2.817bcd	FC-Starbuck	5.316a	F-Silvana	5.156a	FC-Starbuck	1.096a
F-Starbuck	0.420bcd	FC-Silvana	0.346a	FC-Silvana	4.365a	F-Starbuck	0.76a
F-Starbuck	0.773d	F-Starbuck	5.208a	FC-Dundee	4.213a	FC-Dundee	1.072a
F-Silvana	0.708d	F-Silvana	1.307a	F-Starbuck	4.213a	F-Silvana	1.175a

E = Estado de madurez. Valores medios con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05).

En el Cuadro 51 aparecen las comparaciones de los promedios generales de los tratamientos para el índice de color a^*b^* , observándose que los tratamientos compuestos por el híbrido Dundee interaccionaron bien con los tres sustratos para producir los frutos con mejores atributos de color relacionados con el estado de madurez, su mejor combinación fue con Tezontle.

Cuadro 51. Resultado general de la prueba de medias en tratamientos para el índice de color a^*b^* de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Tratamientos	Medias Generales del Índice de Color a^*b^*
Tezontle-Dundee	0.736a
Perilita-Dundee	0.732a
Fibra de coco-Dundee	0.702a
Perilita-Silvana	0.574a
Tezontle-Starbuck	0.572a
Fibra de coco-Silvana	0.530a
Perilita-Starbuck	0.521a
Fibra de coco-Starbuck	0.499a
Tezontle-Silvana	0.498a

Medias con igual literal dentro de una columna no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05).

Relación a*/b* de los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general de los factores en sus tres niveles con respecto a la mejor relación a*/b* en los frutos de tomate se aprecia en el Cuadro 52. El ANAVA general determinó que el factor cultivar resultó altamente significativo ($p \leq 0.01$), la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mostró al híbrido Dundee con la mejor relación a*/b*, resultando congruente ya que este cultivar presentó el color más rojo. El factor sustrato resultó no significativo, y sus tres niveles fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 52. Prueba general de medias en factores y niveles, para el índice de color a*/b* de frutos de tomate hola, cultivados en invernadero.

<i>Factores y Niveles</i>	<i>Medias Generales</i>
<i>Cultivar:</i>	<i>Índice de color a*/b*</i>
Dundee	0.723a
Silvana	0.533b
Starbuck	0.530b
<i>Sustrato:</i>	<i>Índice de color a*/b*</i>
Perla	0.609a
Tezonilla	0.602a
Fibra de coco	0.577a

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0.05$)

Relación a*/b* de los frutos por efecto de la interacción sustrato x cultivar

En la Figura 29 se presenta la interacción S x C obtenida de los factores y niveles al analizar el índice de color a*/b*, destacándose lo siguiente: El híbrido Dundee presenta una gran influencia para incrementar el valor de la relación a*/b* en sus combinaciones con los tres sustratos, sobresaliendo con el sustrato Tezonilla. El sustrato que más influyó para incrementar los valores del índice de color a*/b* fue Perla, y el que menos, Fibra de coco, de forma tal que este último en combinación

con los híbridos Starbuck y Silvana obtuvieron frutos con tonos más oscuros de color a^*b^* .

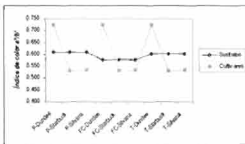


Figura 29. Representación gráfica de la Interacción S x C observada en el índice de color a^*b^* , de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

La relación a^*b^* es un buen índice de color para predecir la maduración del tomate, al aumentar los valores de esta relación, se incrementa el estado de madurez de los frutos y viceversa. Este índice está influenciado por el factor sustrato, por el factor cultivar y por su interacción.

Contenido de Carotenoides en los Frutos

Una de las características del tomate es la producción de pigmentos que producen colores amarillos a rojos, estos pigmentos se denominan carotenoides y se dividen en carotenos y xantofilas. Dentro de los carotenos destacan los α , β y γ -carotenos y el licopeno.

Licopenos

El principal carotenoide responsable del color del tomate maduro es el licopeno, de tal manera que su cuantificación se vuelve importante para determinar el grado de

madurez de los frutos, pero además, este compuesto es de inculcable valor nutracéutico, ya que se le atribuyen numerosas propiedades para proteger la salud. El contenido de licopeno en los frutos se determinó con el siguiente modelo lineal propuesto por Zapata *et al.* (2007):

$$\text{Licopeno (mg/100 g)} = 1.5440 - 2.8218 (a^* b^*) \text{ con } r = 0.9761$$

Donde a^* y b^* son los índices de color del sistema CIEL.

Análisis de varianza para el contenido de licopenos en los frutos

En el Cuadro 53 se presentan los resultados de los análisis de varianza para cuatro cortes en que se realizó el cálculo del contenido de licopenos de los frutos de tomate. Para los cortes 3, 4 y 8 existieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y sustratos, para cultivares hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) solamente en el corte 3 y 4, no habiendo diferencias en el corte 5. La interacción sustrato-cultivar fue altamente significativa ($p \leq 0.01$) en el corte 8, significativa ($p \leq 0.05$) en el corte 3 y no significativa en el corte 4, en el corte 6 resultaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre cultivares.

Cuadro 53. Resultados de los análisis de varianza por corte, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estados diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Fuente de variación	C3, E-5	C4, E-5	C6, E-4 ¹⁰⁰	C8, E-7
Tratamientos	7.925 **	6.486 **	1.579 n.s	13.209 **
Sustrato	12.209 **	6.870 **	1.039 n.s	40.217 **
Cultivar	13.882 **	18.111 **	4.322 *	1.437 n.s
Interacción	2.825 *	0.491 n.s	0.478 n.s	5.541 **
C.V (%)	3.86	17.22	23.90	3.53

¹⁰⁰ Los datos fueron transformados a $\sqrt{x+5}$, E = Estado de maduración. C = Corte cosecha. n.s = No significativo. * = Significativo al 0.05. ** = Significativo al 0.01.

Dinámica del contenido de licopenos en los frutos

En la Figura 30 se observa la dinámica del contenido de licopenos en diversas etapas de maduración del fruto de tomate, haciéndose evidente que a medida que empieza a madurar, los licopenos van apareciendo hasta llegar a un límite máximo, límite que está directamente relacionado con el grado de maduración y que depende del tipo de cultivar y de las condiciones ambientales. El color depende tanto del carácter varietal, como del estado de maduración del fruto al momento de la recolección (Díez, 2001).

El contenido de licopenos $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ por etapas de maduración fluctúa de la siguiente manera: En el estadio 4 (rosa) de 0.411 (Perlita-Starbuck) a 2.158 (Tezontle-Dundee), promedio 1.198. En el estadio 5 (rojo claro) de 2.157 (Tezontle-Silvana) a 4.035 (Fibra de coco-Dundee), promedio 2.901. En el estadio 6 (rojo) de 4.338 (Tezontle-Silvana) a 5.111 (Perlita-Dundee), promedio 4.221. En el estadio 7 (maduro rojo) de 5.434 (Perlita-Silvana) a 6.390 (Tezontle-Starbuck), promedio 5.158. Los valores entre E-5 y E-7 se encuentran dentro del rango reportado por Levy y Sharoni (2004) citados por Zapata *et al.* (2007): 3.1 y 7.7 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$. En el caso del E-4, los resultados indican que se trata de tomates que inician la síntesis de licopeno.

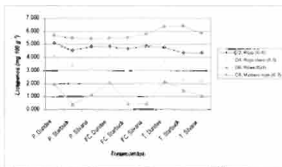


Figura 30. Efecto de los tratamientos en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Contenido de licopenos en los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 54 se distinguen los tratamientos que presentaron las mayores frecuencias de aparición en los cinco niveles más altos de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para contenido de licopenos en frutos, siendo estos: Perlita-Dundee (4), Tezontle-Dundee (4), Fibra de coco-Dundee (3), Perlita-Silvana (3), Tezontle-Starbuck (2) y Fibra de coco-Silvana (2).

Cuadro 54 Resultados por corte de la prueba de medias realizada a los tratamientos, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Corte 2 (E.C. Balsa)		Corte 4 (E.C. Tezonile)		Corte 6 (E.C. Anahuac)		Corte 7 (E.C. Matamoros)	
Treatment	Lycopene (mg 100 g ⁻¹)	Treatment	Lycopene (mg 100 g ⁻¹)	Treatment	Lycopene (mg 100 g ⁻¹)	Treatment	Lycopene (mg 100 g ⁻¹)
T-Dundee	4.111a	PC-Dundee	4.915a	T-Dundee	2.118a	T-Dundee	4.99a
PC-Sistrun	4.915a	T-Tezonile	4.111a	PC-Dundee	2.964a	T-Dundee	4.126a
PC-Dundee	4.872a	T-Dundee	3.447a	T-Dundee	3.988a	T-Dundee	4.119a
T-Arzupe	4.818a	T-Sistrun	3.115a	T-Sistrun	3.467a	PC-Arzupe	3.713a
T-Dundee	4.704a	T-Sistrun	3.115a	T-Sistrun	3.166a	T-Sistrun	4.444a
PC-Sistrun	4.665a	PC-Sistrun	2.470a	T-Sistrun	3.763a	PC-Sistrun	3.811a
T-Arzupe	4.520a	PC-Sistrun	2.774a	PC-Sistrun	6.447a	T-Arzupe	3.864a
T-Sistrun	4.374a	T-Sistrun	2.220a	PC-Sistrun	6.426a	PC-Tezonile	3.443a
T-Tezonile	4.338a	T-Sistrun	2.175a	T-Sistrun	6.413a	T-Sistrun	3.436a

E = Estado de maduración. Medias con igual letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05).

En el Cuadro 55 aparecen las comparaciones de los promedios generales de los tratamientos para el contenido de licopenos en frutos de tomate, observándose que los tratamientos compuestos por el híbrido Dundee interaccionaron bien con los tres sustratos para producir los frutos con mayor contenido de licopenos, resultado coherente, debido a que este cultivar obtuvo los frutos más rojos. La mejor combinación de Dundee para este parámetro de calidad, fue con Tezonile.

Cuadro 55. Prueba general de medias en tratamientos, para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

<i>Tratamientos</i>	<i>Medias generales de Licopenos (mg 100g⁻¹)</i>
Tezonile-Dandee	4.224a
Perla-Dandee	4.206a
Fibra de coco-Dandee	4.090a
Perla-Silvana	3.633a
Tezonile-Starbuck	3.625a
Fibra de coco-Silvana	3.472a
Perla-Starbuck	3.440a
Fibra de coco-Starbuck	3.390a
Tezonile-Silvana	3.352a

Medias con igual letra en una columna no son estadísticamente diferentes, Tukey (p < 0.05)

Dinámica del contenido de licopenos en los frutos por efecto de los cultivares

En la Figura 31 se presenta el comportamiento de los cultivares con respecto al contenido de licopeno ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en los frutos en las diversas etapas de maduración. Al promediar los cuatro cortes, el contenido de licopenos fue mayor en Dandee con 4.176, posteriormente Silvana con 3.486 y finalmente Starbuck con 3.475. Los resultados anteriores son proporcionales a los valores encontrados en la prueba de Tukey para el índice de color a^* .

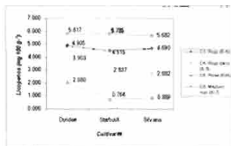


Figura 31. Efecto del factor cultivar en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Dinámica del contenido de licopenos en los frutos por efecto de los sustratos

El efecto de los sustratos sobre el contenido de licopenos ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) de los frutos de tomate fue de la siguiente manera: Perlita con 3.759, Tezontle con 3.734 y Fibra de coco con 3.644.

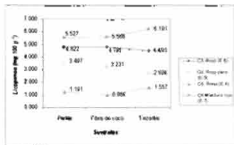


Figura 32. Efecto del factor sustrato en la dinámica del contenido de licopenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Comportamiento general del contenido de licopenos en los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general de los factores en sus tres niveles con respecto al contenido de licopenos en los frutos de tomate se agrupa en el Cuadro 56. El ANOVA general para el factor cultivar encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), en tanto que la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$) encontró que el híbrido Dundee produjo los frutos con mayor contenido de licopenos, siendo estadísticamente diferente a los otros dos cultivares. En lo que respecta al factor sustrato, no fue significativo y sus tres niveles fueron estadísticamente iguales, sobresaliendo Perlita.

Cuadro 56. Prueba general de medias en factores y niveles para el contenido de licopenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Factores y Niveles	Medias Generales
Cultivar:	Licopenos (mg 100 g ⁻¹)
Dundee	4.176a
Silvana	3.486b
Starbuck	3.475b
Sustrato:	Licopenos (mg 100 g ⁻¹)
Perlita	3.760a
Tarjeta	3.734a
Fibra de coco	3.644a

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados permiten confirmar que el contenido de licopenos no depende exclusivamente del cultivar, existen otros factores que contribuyen a su formación como los sustratos y la interacción de factores ambientales y genéticos. Valadez (1998) señala que la temperatura juega un papel importante en la síntesis de licopeno, ya que la temperatura óptima para la maduración del fruto es de 18 a 24 °C, si la temperatura es menor a 15 °C, los frutos tienen una maduración muy pobre, cuando es mayor a 32 °C durante el almacenamiento la coloración roja (licopeno) es

inhibida y los frutos se tornan amarillos, y se afirma que a temperaturas de 22 a 28 °C se obtiene una óptima pigmentación roja.

Contenido de β -carotenos

Los β -carotenos son importantes porque son fuente de vitamina A. Para cuantificar el contenido de estos pigmentos se utilizó el modelo lineal propuesto por Zapata *et al* (2007). Este a continuación se presenta:

$$\beta\text{-caroteno (mg/100 g)} = 0.0375 + 0.0916 (a^*b^*) \text{ con } r = 0.9751$$

Donde a^* y b^* son los índices de color del sistema CIEL.

Análisis de varianza para el contenido de β -carotenos en los frutos

En el Cuadro 57 se presentan los resultados del análisis de varianza para cuatro cortes en que se llevaron a cabo los cálculos del contenido de licopenos en los frutos de tomate. Para los cortes 3, 4 y 8 existieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y sustratos, para cultivares hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el corte 3 y 4 no habiendo diferencias en el corte 8, la interacción sustrato-cultivar fue altamente significativa ($p \leq 0.01$) en el corte 8 significativa ($p \leq 0.05$) en el corte 3 y no significativa en el corte 4. En el corte 6 únicamente se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre cultivares.

Cuadro 57. Resultados de los análisis de varianza por corte para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de Invernadero.

Fuente de variación	GL	F ₀₁	GL	F ₀₂	GL	F ₀₃	GL	F ₀₄
Tratamientos	3	289 **	3	489 **	3	588 n.s.	3	13,209 **
Sustrato	12	285 **	12	370 **	12	780 n.s.	12	40,217 **
Cultivar	12	232 **	12	171 **	12	4754 *	12	1,237 n.s.
Interacción	36	64 *	36	481 n.s.	36	409 n.s.	36	5,541 **
C.V (%)		3.83		17.58		1.40		3.57

GL = Grados de libertad, C = Corte, n.s. = No significativo, * = Significativo al 0.05; ** = Significativo al 0.01

Dinámica del contenido de β -carotenos en los frutos

En la Figura 33 se observa la dinámica del contenido de β -carotenos en diversas etapas de maduración del fruto de tomate, notándose que es muy similar al de los licopenos, situación que es esperada debido a que ambos son pigmentos carotenoides. De acuerdo con Miller (1981) cuando la clorofila es destruida los carotenoides se vuelven visibles y como lo señala Wills *et al.* (1998) la desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis, o al desentrenamiento, de otros pigmentos, cuyos colores oscilan entre el amarillo y el rojo, en el caso del tomate, la síntesis de carotenoides es simultánea a la degradación de la clorofila.

El contenido de β -carotenos ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) por etapas de maduración fluctúa de la siguiente manera. En el estadio 4 (rosa) de 0.009 (Perlita-Starbuck) a 0.053 (Tezontle-Dundee), promedio 0.029. En el estadio 5 (rojo claro) de 0.053 (Tezontle-Silvana) a 0.100 (Fibra de coco-Dundee), promedio 0.072. En el estadio 6 (rojo) de 0.108 (Tezontle-Silvana) a 0.127 (Perlita-Dundee), promedio 0.105. En el estadio 7 (maduro rojo) de 0.135 (Perlita-Silvana) a 0.160 (Tezontle-Starbuck), promedio 0.129. Estos valores se asemejan a los encontrados por Zapata *et al.* (2007) para las etapas de almacenamiento, maduración y comercialización: 0.44 ± 0.25 , 1.04 ± 0.13 y $1.14 \pm 0.02 \mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente.

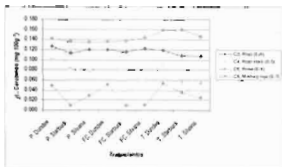


Figura 33. Efecto de los tratamientos en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Contenido de β -carotenos en los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 58 se observan los tratamientos que presentaron la mayor frecuencia de aparición en los cinco primeros niveles de la prueba de Tukey ($p=0.05$), para β -carotenos, estos fueron: Perlita-Dundee (4), Tezontle-Dundee (4), Perlita-Silvana (3), Fibra de coco-Dundee (2), Tezontle-Starbuck (2) y Fibra de coco-Silvana (2).

Cuadro 58. Resultados de la prueba de medias por corte para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero

Corte 2 (E-2) <i>Reda</i>		Corte 4 (E-2) <i>Reda</i>		Corte 6 (E-2) <i>Reda</i>		Corte 8 (E-2) <i>Reda</i>	
β-Caroteno (mg 100 g ⁻¹)		β-Caroteno (mg 100 g ⁻¹)		β-Caroteno (mg 100 g ⁻¹)		β-Caroteno (mg 100 g ⁻¹)	
R-Dundee	0.177a	PC-Dundee	0.189a	T-Dundee	0.272a	T-Starbuck	0.166a
PC-Silvana	0.125ab	F-Dundee	0.193a	PC-Dundee	0.191a	T-Dundee	0.196ab
PC-Dundee	0.123abc	F-Dundee	0.191a	F-Dundee	0.149a	T-Silvana	0.166bc
F-Silvana	0.123abc	F-Silvana	0.183ab	T-Starbuck	0.275a	PC-Silvana	0.146c
T-Dundee	0.119bcd	F-Silvana	0.177ab	F-Silvana	0.28a	T-Dundee	0.142c
PC-Starbuck	0.115cd	PC-Starbuck	0.175ab	T-Silvana	0.225a	PC-Starbuck	0.117c
F-Starbuck	0.113cd	PC-Silvana	0.167a	PC-Silvana	0.261a	T-Starbuck	0.116cd
T-Starbuck	0.106cd	T-Silvana	0.160a	PC-Starbuck	0.209a	PC-Dundee	0.116c
T-Silvana	0.104d	T-Silvana	0.153a	T-Starbuck	0.207a	F-Silvana	0.116c

E = Estado de maduración; Medias con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes, Tukey (p < 0.05)

En el Cuadro 59 aparecen las comparaciones de los promedios generales de los tratamientos para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate, observándose que los tratamientos compuestos por el híbrido Dundee sinergizó con los tres sustratos para producir los frutos con mayor contenido de β -carotenos. La mejor combinación de Dundee para este parámetro de calidad, fue con Tezontle.

Cuadro 59 Prueba general de medias en tratamientos para el contenido de β -carotenos de frutos de tomate bola cultivados en invernadero

Treatmentos	Medias Generales de β-carotenos (mg 100 g ⁻¹)
Tezontle-Dundee	0.105a
Perlita-Dundee	0.104a
Fibra de coco-Dundee	0.102a
Perlita-Silvana	0.092a
Tezontle-Starbuck	0.090a
Fibra de coco-Silvana	0.086a
Perlita-Starbuck	0.085a
Tezontle-Silvana	0.083a
Fibra de coco-Starbuck	0.083a

Medias con igual literal en una columna no son estadísticamente diferentes, Tukey (p < 0.05)

Dinámica del contenido de β -carotenos en los frutos por efecto de los cultivares

En la Figura 34 se presenta el comportamiento de los cultivares con respecto al contenido de β -carotenos de sus frutos en las diversas etapas de maduración. Al promediar los cuatro cortes, el contenido de β -carotenos fue mayor en Dundee con $0.104 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, posteriormente Silvana con 0.087 y Starbuck con 0.086 .

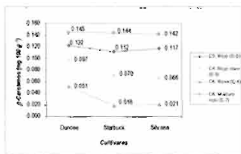


Figura 34. Efecto de los cultivares en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Dinámica del contenido de β -carotenos en los frutos por efecto de los sustratos

El efecto de los sustratos sobre el contenido de β -carotenos de los frutos de tomate fue de la siguiente manera: Perlita y Tezontle con $0.093 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, Fibra de coco con 0.090 .

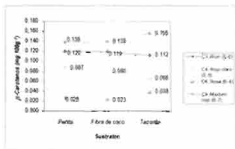


Figura 35. Efecto de los sustratos en la dinámica del contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Comportamiento general del contenido de β -carotenos en los frutos por efecto de los factores y niveles

El comportamiento general de los factores en sus tres niveles con respecto al contenido de β -carotenos en los frutos de tomate se aprecia en el Cuadro 60. El ANAVA general reveló diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) entre cultivares, en tanto que la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mostró que el híbrido Dundece produjo los frutos con mayor contenido de licopenos, siendo estadísticamente diferente a los otros dos cultivares. En lo que respecta al factor sustrato, no existió diferencia significativa, y sus tres niveles fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 60. Prueba general de medias en factores y niveles para el contenido de β -carotenos en frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

<i>Factores y Niveles</i>		<i>Medias Generales</i>
<i>Cultivar</i>		<i>β-carotenos (mg/100 g)</i>
Dunder		0.104a
Silvana		0.056b
Starbuck		0.036b
<i>Sustrato</i>		<i>β-carotenos (mg/100 g)</i>
Perla		0.093a
Tanzile		0.095a
Fibra de coco		0.096a

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0.05$)

Bajo las condiciones del presente trabajo, se aprecia que el contenido de β -carotenos en los frutos de tomate, está influenciado por los mismos factores que afectan el contenido de licopenos, posiblemente porque ambos pigmentos se biosintetizan a partir del fitoeno (Nuez, 2001).

pH de los Frutos.

Diez (2001) menciona que dentro de los índices de calidad industrial del tomate, se encuentra el pH del zumo (jugo), cuyo valor se sitúa normalmente entre 4.2 y 4.4

Análisis de varianza para el pH de los frutos

En el Cuadro 61 se presentan los resultados de los análisis de varianza para los cuatro cortes en que se realizaron las determinaciones del pH en los frutos de tomate. Para los cortes 3, 4 y 8 existieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y entre cultivares, entre sustratos únicamente en el corte 3 existió diferencia siendo altamente significativa. En el corte 6 solamente se encontró diferencia significativa en la interacción S x C.

Cuadro 61. Resultados de los análisis de varianza para el pH de frutos de tomate bola en cuatro estados diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Fuente de Variación	CS E-4	CS E-5	CS E-6	CS E-7
Tratamiento	13.946 **	9.383 **	2.296 n.s.	4.723 **
Sustrato	21.113 **	1.341 n.s.	0.248 n.s.	0.842 n.s.
Cultivar	32.684 **	18.246 **	0.207 n.s.	20.281 **
Int. S x C	0.848 n.s.	0.972 n.s.	4.122 *	0.894 n.s.
C.V. (%)	0.79	0.83	1.72	1.06

E = Estado de maduración; C = Coara (cruscal); n.s. = No significativa; * = Significativo al 0.05; ** = Significativo al 0.01

Dinámica del valor del pH en los frutos por efecto de los tratamientos

En la Figura 36 se observa la dinámica que presentaron los frutos de tomate con relación al pH por efecto de los tratamientos, pudiendo apreciarse que en los estados más cercanos a la madurez organoléptica (E-6 y E-7) los valores del pH son más bajos que en los estados tempranos de madurez (E-4 y E-5), presentándose una diferencia de 0.21. Además se observa que el valor del pH descendió 0.24 unidades del estado 5 al 6, pero luego ascendió 0.08 unidades del estado 6 al 7.

De manera general las fluctuaciones del pH del jugo de los frutos de tomate se presentaron de la siguiente manera: Para el estado 4 (rosa) de 4.31 (Tezonile-Dundee) a 4.49 (Tezonile-Silvana), promedio 4.41. Para el estado 5 (rojo claro) de 4.33 (Tezonile-Dundee) a 4.46 (Fibra de coco-Starbuck), promedio 4.40. Para el estado 6 (rojo) de 4.06 (Tezonile-Dundee) a 4.24 (Perlita-Silvana), promedio 4.15. Para el estado 7 (maduro rojo) de 4.16 (Perlita-Dundee) a 4.31 (Tezonile-Silvana), promedio 4.23. El rango de promedios fue de 4.41 para tomate rosa a 4.15 para tomate maduro rojo, rango que está entre 4 y 5, éste de acuerdo con Agrayo y Artés (2004), es el adecuado para que los tomates tengan un aroma y sabor óptimos.

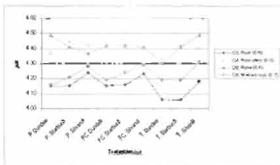


Figura 26. Efecto de los tratamientos en la dinámica del pH en frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Valor del pH en los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 62 se presentan las comparaciones de los valores medios de pH en el jugo de los frutos de las diferentes combinaciones de factores y niveles, y puede apreciarse los tratamientos que presentaron la mayor frecuencia de aparición en los cinco niveles más altos de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), estos fueron: Tezontle-Silvana (4), Fibra de coco-Starbuck (4), Perlita-Silvana (3), Fibra de coco-Silvana (3), Fibra de coco-Dundee (2) y Perlita-Starbuck (2).

Cuadro 62. Resultados de la prueba de medias por corte, para el pH de frutos de tomate bola en cuatro estados de maduración bajo condiciones de invernadero.

Corte 3 (E-5. Rosis)		Corte 4 (E-5. Rosis clavo)		Corte 6 (E-4. Rosis)		Corte 8 (E-7. Maduro rosis)	
Trazamiento	pH	Trazamiento	pH	Trazamiento	pH	Trazamiento	pH
T-Silvana	4.24a	TC-Silvana	4.4a	T-Silvana	4.47a	T-Silvana	4.33a
TC-Silvana	4.22ab	T-Silvana	4.44b	T-Silvana	4.49a	TC-Silvana	4.27ab
T-Silvana	4.18ab	T-Silvana	4.44b	TC-Starbuck	4.42a	T-Silvana	4.29ab
TC-Starbuck	4.31b	T-Starbuck	4.32bc	TC-Dundee	4.42ab	TC-Starbuck	4.32ab
TC-Dundee	4.33b	T-Silvana	4.45bc	TC-Silvana	4.41ab	T-Starbuck	4.27ab
T-Starbuck	4.17b	TC-Silvana	4.41bc	T-Silvana	4.41a	TC-Dundee	4.17bc
T-Dundee	4.15b	T-Dundee	4.37bc	T-Starbuck	4.31ab	T-Dundee	4.18bc
T-Dundee	4.09c	TC-Dundee	4.36c	T-Silvana	4.37ab	T-Dundee	4.19bc
T-Dundee	4.05c	T-Dundee	4.35c	T-Dundee	4.11b	T-Dundee	4.19c

E = Estado de maduración; Medias con la misma literal dentro de cada columna son estadísticamente iguales, Tukey (p < 0.05)

En el Cuadro 63 aparecen las comparaciones de los promedios generales de los tratamientos para el pH de frutos de tomate, observándose que los frutos más ácidos se dieron por el efecto de la interacción del Tezontle con Starbuck y Dundee, en tanto que los frutos menos ácidos los obtuvo el híbrido Silvana en combinación con los tres sustratos, sobresaliendo su interacción con Tezontle.

Cuadro 63. Resultado general de la prueba de medias en tratamientos para el pH de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Trazamiento	Medias Generales de pH
Tezontle-Silvana	4.32a
Perlita-Silvana	4.33ab
Fibra de coco-Silvana	4.33ab
Fibra de coco-Starbuck	4.32ab
Perlita-Starbuck	4.30abc
Perlita-Dundee	4.29bc
Fibra de coco-Dundee	4.27bcd
Tezontle-Starbuck	4.27cd
Tezontle-Dundee	4.25d

Medias con la misma literal en una columna son estadísticamente iguales, Tukey (p < 0.05)

Valor del pH en los frutos por efecto de los cultivares

En tres de los cuatro cortes el ANAVA encontró diferencia altamente significativa para el factor cultivar (Cuadro 61). En la Figura 37 se presenta el comportamiento general de los cultivares con respecto al pH de sus frutos, haciendo notar que las barras corresponden a las medias del valor del pH, siendo las medias con diferente literal estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$), lo cual indica que los valores medios del pH de los tres cultivares son estadísticamente diferentes. El pH fue mayor en Silvana con 4.33, posteriormente Starbuck con 4.30 y finalmente Dundee con 4.26. El híbrido Silvana produjo los frutos menos ácidos, en tanto, el híbrido Dundee manifestó una tendencia a producir frutos más ácidos.

Los resultados coinciden con lo reportado por Jasso *et al.* (2009) al evaluar el pH de frutos de tomate provenientes de tres cultivares Gerónimo, Dundee y Camán, en esta evaluación señalan a Dundee como el cultivar que obtuvo los valores más bajos de pH con una media de 3.98, indicando además, que el factor cultivar tiene una influencia sobre el pH.

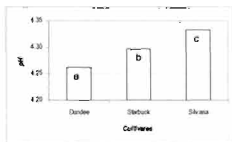


Figura 37. Efecto del factor cultivar en el pH de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

En la Figura 38 se observa la dinámica del pH por efecto de los cultivares.

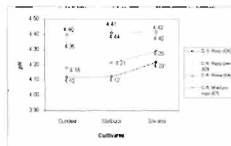


Figura 38. Efecto del factor cultivar en la dinámica del pH de frutos de tres híbridos de tomate bola en cuatro estadios diferentes, bajo condiciones de invernadero.

Valor del pH en los frutos por efecto de los sustratos

El ANAVA muestra que en el 75% de los cortes no se encontró diferencia significativa para el factor sustrato (Cuadro 61), al promediar los cuatro cortes la prueba de Tukey ($p > 0.05$) muestra que el pH más bajo lo obtuvieron los frutos cultivados en Tezontle con 4.28, en tanto que Perlita y Fibra de coco resultaron con un valor idéntico de 4.31. Por lo anterior, Tezontle fue diferente a Fibra de coco y Perlita, siendo estos dos últimos iguales estadísticamente (Figura 39). Prácticamente el efecto de los sustratos sobre el pH de los frutos no fue significativo, resultado que Jasso *et al.* (2009) ratifican, al evaluar el efecto de estos tres sustratos sobre el pH de tomates bola provenientes de tres cultivares, su reporte fue: los sustratos no contribuyeron de manera significativa en los valores medios de pH de los frutos de tomate.

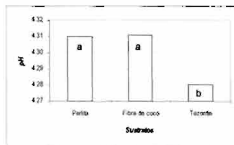


Figura 39. Efecto del factor sustrato en el pH de frutos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

En la Figura 40 se aprecia la dinámica de los valores del pH de los frutos por efecto de los sustratos.

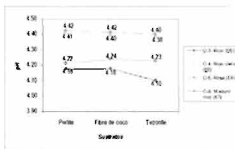


Figura 40. Efecto del factor sustrato en la dinámica del pH de frutos de tomate bola en cuatro estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

El análisis del pH y su relación con los estados de madurez de los frutos (Figuras 38 y 40), muestra el siguiente orden decreciente de los valores medios de pH: E-4 rosa

(4.41), E-5 rojo claro (4.40), E-7 maduro rojo (4.23) y E-6 rojo (4.15). Estos resultados indican que el pH es mayor en los estadios rosa y rojo claro, y menor en rojo y rojo maduro, concordando con la figura 3.2 denominada: Modificaciones físicoquímicas que tienen lugar durante la maduración postcosecha de tomates (Wills *et al.* (1998).

Sólidos Solubles Totales (SST) en los Frutos

El cambio más importante durante la maduración de los frutos y hortalizas es la transformación de los hidratos de carbono poliméricos. Especialmente frecuente es la casi total conversión del almidón en azúcares. El contenido de azúcar se puede medir directamente por procedimientos químicos pero, como quiera que es el componente mayoritario de los sólidos solubles, resulta más fácil, e igualmente útil, determinar los sólidos solubles totales en el jugo extraído, mediante un refractómetro o un densímetro Wills *et al.* (1998).

Análisis de varianza para los SST de los frutos

En el Cuadro 64 se presentan los resultados de los análisis de varianza para los dos cortes en que se realizaron las determinaciones de °Brix en los frutos de tomate. Puede observarse que existe un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) en la interacción S x C, lo cual implicó un análisis de las interacciones entre factores y niveles.

Cuadro 64. Resultados de los análisis de varianza por corte para los °Brix de frutos de tomate bajo en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Fuente de Variación	C x S, F-5	C x S, F-7
Tratamientos	32.814 **	3.067 *
Sustrato	76.5783 **	1.137 n.s.
Cultivar	45.945 **	1.971 n.s.
Interacción	4.486 **	4.460 **
C.V. (%)	3.46	4.56

S = Estado de maduración; C = Corte tomatal; n.s. = No significativo; * = Significativo al 0.05; ** = Significativo al 0.01

Dinámica de los SST en los frutos por efecto de los tratamientos

En la Figura 41 se observa la dinámica de los °Brix en los frutos de tomate para los estadios de maduración 5 (rojo claro) y 7 (maduro rojo), resultando entre ambos una diferencia mínima de 0,08 °Brix, ya que sus promedios fueron 4,08 y 4,00 respectivamente. La fluctuación de los °Brix por estadio de madurez se presentó de la siguiente manera: Para el estadio 5 (rojo claro) el valor medio más bajo lo obtuvo la combinación Fibra de coco-Dundee con 3,55, y el más alto Tezontle-Silvana con 4,93 °Brix. Para el estadio 7 (maduro rojo) el valor más bajo nuevamente lo obtuvo la combinación Fibra de coco-Dundee con 3,65, y el más alto Tezontle-Starbuck con 4,20 °Brix.

Los promedios se encuentran dentro del rango 4 a 6 señalado por Aguayo y Artés (2004) como el adecuado para que los tomates tengan un aroma y sabor óptimos.

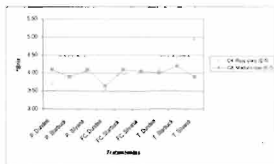


Figura 41. Dinámica por efecto de los tratamientos de los °Brix en frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Contenido de SST en los frutos por efecto de los tratamientos

En el Cuadro 65 se presenta la comparación de medias entre tratamientos, observándose los de mayor frecuencia de aparición en los cinco niveles más altos de

la prueba de Tukey ($p < 0.01$)
y Fibra de coco-Silvana (2)

Cuadro 65. Resultados de la prueba de medias para $^{\circ}$ Brix de frutos de tomate bella en dos estados de maduración, cultivados en invernadero.

Corte 4 (E-5) Bajo calor		Corte 2 (E-7) Madureo rojo	
Tratamiento	$^{\circ}$ Brix	Tratamiento	$^{\circ}$ Brix
Tecoztle-Silvana	4.55a	Tecoztle-Starback	4.20a
Tecoztle-Starback	4.44b	Perita-Dundee	4.11ab
Tecoztle-Dundee	4.17bc	Perita-Silvana	4.10ab
Perita-Silvana	4.05c	Fibra de coco-Starback	4.10ab
Fibra de coco-Silvana	4.02cd	Fibra de coco-Silvana	4.05ab
Fibra de coco-Starback	3.99cd	Tecoztle-Dundee	4.04ab
Perita-Starback	3.93cd	Perita-Starback	3.99ab
Perita-Dundee	3.78de	Tecoztle-Silvana	3.95ab
Fibra de coco-Dundee	3.55e	Fibra de coco-Dundee	3.47b

E = Estado de maduración; Medias con igual literal dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

Contenido de SST en los frutos por efecto de los cultivares

De acuerdo al ANAVA (Cuadro 64) se aprecia que en uno de los dos cortes resultó altamente significativo ($p < 0.01$) el factor cultivar, y no significativo en el otro. En la Figura 42 se presenta el comportamiento de los cultivares con respecto a los $^{\circ}$ Brix en dos estados de maduración, observándose literales en las barras, de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$) si estas no son iguales los valores medios son estadísticamente diferentes, por lo tanto, las medias de los $^{\circ}$ Brix de los frutos de Starback y Silvana son estadísticamente iguales, pero diferentes de la media de Dundee.

Los $^{\circ}$ Brix fueron mayores en Silvana con 4.18, posteriormente Starback con 4.09 y finalmente Dundee con 3.85. Resultados similares obtuvo Jasso *et al.* (2009) al evaluar los $^{\circ}$ Brix de tres cultivares de tomate producidos bajo condiciones casi idénticas, reportando que el cultivar Dundee obtuvo la media más baja (3.85), comparado con Geronimo (3.95) y Camán (4.16 $^{\circ}$ Brix).

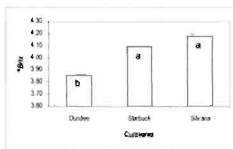


Figura 42. Efecto del factor cultivar en los °Brix de frutos de tres híbridos de tomate bola, bajo condiciones de invernadero.

La dinámica por efecto de los cultivares que presentaron los °Brix de los frutos de los híbridos en los estadios rojo claro y rojo maduro se presenta en la Figura 43.

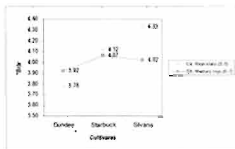


Figura 43. Efecto del factor cultivar en la dinámica de los °Brix de frutos de tres híbridos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

Contenido de SST en los frutos por efecto de los sustratos

El efecto del factor sustrato en el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de tomate bola (Cuadro 64), resultó altamente significativo ($p \leq 0.01$) en uno de los dos cortes, y no significativo en el otro. En la Figura 44 se observa la diferencia de los valores medios de los °Brix en los frutos de tomate por efecto de los sustratos, barras con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). El sustrato cuyo efecto en los híbridos dio por resultado los frutos más dulces fue el Tezontle con 4.26, posteriormente Perlita con 3.96 y Fibra de coco con 3.89 °Brix, estos dos últimos presentaron valores casi iguales. Los resultados son similares a los obtenidos por Jasso *et al.* (2009), ellos reportan que los frutos producidos en Tezontle presentaron más °Brix (4.13), en comparación con los que se desarrollaron en Fibra de coco (3.95) y en Perlita (3.88).

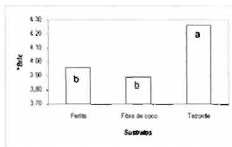


Figura 44. Efecto del factor sustrato en los °Brix de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

En la Figura 45 se aprecia el efecto de los sustratos en la dinámica de los °Brix de los frutos de tomate bola en dos estadios de maduración.

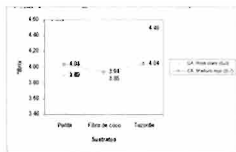


Figura 45. Efecto del factor sustrato en la dinámica de los °Brix de frutos de tomate bola en dos estadios de maduración, bajo condiciones de invernadero.

El análisis de los °Brix y su relación con los estados de madurez de los frutos (Figuras 43 y 45), muestra el siguiente orden decreciente de los valores medios de °Brix: E-5 rojo claro (4.08), E-7 maduro rojo (4.00). Estos resultados indican que los °Brix son ligeramente mayores en el estadio rojo claro comparados con el maduro rojo, concordando con la figura 3.2 denominada: Modificaciones físicoquímicas que tienen lugar durante la maduración postcosecha de tomates (Wills *et al.* 1998).

Contenido de SST en los frutos por efecto de la interacción sustrato x cultivar

Respecto a la interacción S x C en la Figura 46 se interpreta lo siguiente: El híbrido Silvana produjo los frutos más dulces, y Dundee los menos dulces. El sustrato Tezontle favoreció la dulzura de los frutos, en tanto que Fibra de coco disminuyó la dulzura de los frutos. Tezontle en combinación con Silvana y Starbuck obtuvo los frutos más dulces, en tanto la interacción Fibra de coco-Dundee, los menos dulces.

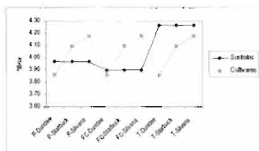


Figura 46. Representación gráfica de la interacción S x C en los °Brix de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

En general, los resultados muestran que el contenido de °Brix de los frutos de tomate depende de más de un factor y sus interacciones.

Rendimiento Comercial de Frutos de Tomate

El rendimiento es la característica agronómica más evaluada y valorada en la producción agrícola, en el presente trabajo la evaluación se realizó tomando en consideración los factores, los tratamientos y el efecto de interacción S x C.

Análisis de varianza por corte para el rendimiento total de frutos de tomate

El análisis de varianza por corte, muestra un notable efecto de los tratamientos y de los sustratos sobre el rendimiento; en el caso de los cultivares, sólo hay indicios de su efecto en un 25% de los cortes. Jasso *et al.* (2009) al evaluar sustratos e híbridos de jitomate en condiciones de invernadero, obtuvieron resultados similares, excepto para el factor cultivar donde reportan diferencias significativas.

Cuadro 66 Resultados de los análisis de varianza por corte para el rendimiento total de frutos de tomate bola (cultivados en invernadero).

Fuente de variación	C ¹	C ²	C ³	C ⁴	C ⁵	C ⁶	C ⁷	C ⁸
Tratamiento	3.772**	3.528 a.s.	2.467 a.s.	2.731**	22.938**	6.875**	1.129**	9.467**
Sustrato	27.871**	1.295 a.s.	2.438 a.s.	5.179**	45.838**	24.794**	15.292**	31.198**
Cultivar	17.492**	0.137 a.s.	3.791*	1.242 a.s.	7.733 a.s.	2.489 a.s.	1.791 a.s.	1.117 a.s.
Int. C x S ¹	5.981**	1.304 a.s.	5.778 a.s.	1.255 a.s.	1.285 a.s.	0.181 a.s.	7.112 a.s.	1.822 a.s.
C x S (Int.)	87.167*	13.001	14.761	17.111	23.791	28.411	35.761	15.161

C = Número de cortes. ** Significativo al 0.05. ** = Significativo al 0.01 de probabilidad. ¹ En este CV se refiere a la producción desde el primer corte. ² Las datos se transformaron a $\sqrt{x+1}$ para incrementar la precisión (Gard y Qilo, 1985).

Este análisis mostró diferencias significativas para:

- Tratamientos. En seis cortes (C1**, C4*, C5**, C6**, C7** y C8**), de los cuales cinco manifestaron ser altamente significativos ($p \leq 0.01$).
- Sustratos. En seis cortes (C1**, C4**, C5**, C6**, C7** y C8**), todos resultaron altamente significativos ($p \leq 0.01$).
- Cultivares. En dos cortes (C1** y C3*), uno de ellos resultó altamente significativo ($p \leq 0.01$), teniendo poca validez debido al inicio dispar de la producción.
- Interacción C x S. En un corte (C1**) se manifestó altamente significativo ($p \leq 0.01$), pero con poca validez, por ser el inicio de la producción.

Dinámica del rendimiento medio total por corte por efecto de los tratamientos

Con relación a la dinámica del rendimiento medio total (incluye rezaga), para las diferentes combinaciones entre los niveles de los factores, en el Cuadro 67 se presenta el comportamiento a través de cada uno de los cortes, observándose diferencias significativas en los rendimientos.

Cuadro 67. Resultados de la prueba de medias en los tratamientos para rendimiento total de tomate bola cultivado en invernadero

Treatmento	RC1 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC2 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC3 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC4 (kg m ⁻²)
FC-Silvana	1.979a	F-Dundee	1.219a	FC-Starbuck	2.839a	F-Silvana	1.219a
FC-Dundee	1.288b	T-Silvana	1.219a	T-Starbuck	2.665ab	T-Starbuck	2.112ab
F-Dundee	1.179bc	T-Starbuck	1.140a	T-Dundee	2.112ab	T-Silvana	1.875ab
T-Dundee	1.179bc	F-Starbuck	1.124a	FC-Dundee	2.375ab	FC-Starbuck	1.775ab
FC-Starbuck	1.162bc	F-Dundee	1.075a	FC-Silvana	2.255ab	F-Starbuck	1.655a
F-Silvana	1.122bc	T-Dundee	1.075a	T-Starbuck	2.255ab	FC-Silvana	1.655a
S-Silvana	1.109bc	FC-Dundee	1.047a	F-Silvana	2.216ab	FC-Dundee	1.648a
T-Starbuck	1.000bc	FC-Starbuck	1.035a	T-Silvana	2.116ab	T-Dundee	1.715ab
T-Starbuck	1.000bc	FC-Silvana	1.019a	T-Dundee	1.709a	F-Silvana	1.661a

RC = Rendimiento para el corte. F = Perlita; FC = Fibras de arroz; T = Turciote. Medias con igual letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05).

Continuación Cuadro 67.

Treatmento	RC5 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC6 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC7 (kg m ⁻²)	Treatmento	RC8 (kg m ⁻²)
T-Starbuck	1.702a	T-Silvana	1.219a	T-Dundee	1.249a	T-Dundee	1.112a
T-Dundee	1.565ab	T-Dundee	1.219a	T-Starbuck	1.280ab	T-Silvana	1.061a
T-Silvana	1.112ab	F-Starbuck	1.250a	F-Dundee	1.225ab	FC-Silvana	1.225ab
FC-Starbuck	1.250ab	FC-Silvana	1.190a	FC-Silvana	1.130ab	T-Starbuck	1.225ab
FC-Dundee	1.287ab	FC-Dundee	1.175ab	FC-Dundee	1.045ab	FC-Starbuck	1.112ab
FC-Silvana	1.112ab	F-Dundee	1.179a	FC-Starbuck	1.025ab	FC-Dundee	1.112ab
F-Dundee	1.155ab	FC-Starbuck	1.179a	F-Silvana	1.119a	F-Dundee	1.112ab
F-Starbuck	1.165a	F-Dundee	1.125a	F-Starbuck	1.179a	F-Silvana	1.112ab
F-Silvana	1.175a	F-Starbuck	1.109a	F-Dundee	1.119a	F-Starbuck	1.112ab

RC = Rendimiento para el corte. F = Perlita; FC = Fibras de arroz; T = Turciote. Medias con igual letra dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes. Tukey (p < 0.05).

Dinámica del rendimiento medio por corte por efecto de los cultivares

El rendimiento medio por corte (ton ha⁻²) por efecto del cultivar se presentó de la siguiente manera: Starbuck con 13.40 sin considerar el primer corte "calentona" y considerándolo 11.77, Silvana 12.82 y 11.55 respectivamente, de la misma forma, Dundee con 12.66 y 11.28, observándose que la producción tiende a estabilizarse después del primer corte (Figura 47).

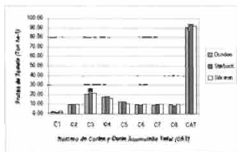


Figura 47. Efecto del factor cultivar en la dinámica del rendimiento comercial por corte, y en el corte acumulado total, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Dinámica del rendimiento medio por corte por efecto de los sustratos

En la Figura 48 puede observarse tanto la dinámica del rendimiento por efecto de los sustratos en cada uno de los cortes, como el rendimiento acumulado total, haciéndose evidente el efecto de los sustratos tanto en el adelanto de la producción como en el rendimiento final obtenido, situación que comprueba lo que autores como Burt (1988), Handreck y Black (1991) citados por Abad y Noguera (2000) mencionan con relación al rápido crecimiento de las plantas y la finalidad de la producción como criterios para elegir un sustrato.

El rendimiento medio por corte (ton ha⁻¹) por efecto de los sustratos se presentó de la siguiente manera: Tezontle con 15.46 sin considerar el primer corte "calcetona" y 13.62 considerándolo; Fibra de coco 12.74 y 11.52 respectivamente; de la misma manera Perlita con 10.69 y 9.47.

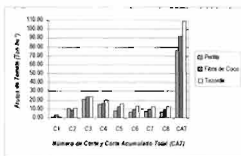


Figura 48. Efecto del factor sustrato en la dinámica del rendimiento comercial por corte, y en el corte acumulado total, de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Análisis de varianza general para el rendimiento comercial de frutos de tomate

El ANAVA general para el rendimiento comercial, indica que los factores actuaron de manera independiente, no existiendo interacción S x C, ni diferencia significativa entre cultivares, pero si una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre los rendimientos medios comerciales de los sustratos y de los tratamientos. En el Cuadro 68 se hace evidente la influencia directa de los sustratos sobre el rendimiento de las plantas de tomate.

Cuadro 68. Análisis de varianza general para el rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

CAUSAS	G.L.	SC	CM	F	F _{0.05}	F _{0.01}
Tratamientos	8	201.91	25.24	5.77**	2.31	3.26
Factor S	2	196.19	98.09	22.41**	3.35	5.49
Factor C	2	2.85	1.43	0.33	3.35	5.49
Inf. S x C	4	2.87	0.72	0.16	2.73	4.11
Error	27	118.19	4.38			
Total	35	320.09				

C.V. = 13.19%. ** Diferencia altamente significativa.

El resultado general de la prueba de medias para el rendimiento comercial (Cuadro 69), muestra que Tezonle-Starbuck, Tezonle-Dundee y Tezonle-Silvana fueron los tres mejores tratamientos, con 112.33, 108.45 y 106.15 ton ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 69. Resultado de la prueba de medias en tratamientos para rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Tratamientos	Rendimiento Comercial (ton ha ⁻¹)
Tezonle-Starbuck	112.33a
Tezonle-Dundee	108.45a
Tezonle-Silvana	106.15ab
Fibra de coco-Starbuck	94.34bc
Fibra de coco-Silvana	93.51abc
Fibra de coco-Dundee	87.99abc
Perlita-Silvana	77.25bc
Perlita-Starbuck	75.87c
Perlita-Dundee	74.08c

Valores con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales. Tukey, (p < 0.05).

Estos resultados exponen al Tezonle como el sustrato que más significativamente influyó para incrementar los rendimientos de las plantas de tomate, respondiendo de manera uniforme con los tres cultivares utilizados, posteriormente le siguió la Fibra de coco y finalmente Perlita. Resultados similares han sido reportados por Jasso *et al.* (2009) al exponer que el Tezonle bajo condiciones de invernadero promovió un mayor rendimiento de frutos de tomate bola, comparado con Perlita y Fibra de coco.

Rendimiento comercial de frutos de tomate por efecto de los factores y niveles

Los resultados del ANAVA general para el factor cultivar se reflejan en una dinámica por corte que no manifestó diferencias significativas como puede apreciarse tanto en la Figura 47 como en la prueba de medias del Cuadro 70.

Starbuck obtuvo el mayor rendimiento (kg m^{-2}), con 9.42, seguido de Silvana con 9.23 y finalmente Dundee con 9.02.

Para el factor sustrato el ANAVA general señala un efecto principal de los sustratos sobre el rendimiento de los cultivares, por tal razón, la dinámica del rendimiento comercial de frutos de tomate manifestó diferencias como puede apreciarse tanto en la Figura 48 como en el Cuadro 70. El sustrato que más influyó en el incremento al rendimiento (kg m^{-2}), fue el Tezonile con 10.90, seguido de Fibra de coco con 9.19 y finalmente Perlita con 7.57.

Cuadro 70 Resultado general de la prueba de medias en factores y niveles, para el rendimiento comercial de frutos de tomate bola cultivados en invernadero.

Factores y Niveles	Medias Generales
Cultivar	kg m^{-2}
Starbuck	9.42a
Silvana	9.23a
Dundee	9.02a
Sustrato	kg m^{-2}
Tezonile	10.90a
Fibra de coco	9.19b
Perlita	7.57c

Medias con igual literal dentro de una columna para un factor con sus niveles, no son estadísticamente diferentes, Tukey ($p < 0.05$).

Comentarios sobre el rendimiento

Los resultados anteriores contrastan con el análisis comparativo realizado a los sustratos con base al sustrato ideal, éste indicó que Perlita se asemejaba más al ideal, por lo tanto era de esperarse que proporcionara mejores condiciones físico-químicas, sobretudo para la nutrición de las plantas, de forma tal, que se reflejara en una mayor producción de frutos. No fue así, ya que el sustrato con el que los cultivares presentaron su máxima respuesta en rendimiento, fue el Tezonile.

Actualmente no se conocen con exactitud las respuestas de las plantas a los diferentes sustratos, e inclusive, resultaría más conveniente estudiar las características del sistema sustrato - solución nutritiva - planta - atmósfera, ya que finalmente la relación de la planta se va a ser únicamente con el sustrato, sino con el sistema que se establezca, ya que puede haber antagonismos y sinergismos entre los elementos del sistema, de forma tal, que lo que por separado resulta adecuado, en conjunto puede no serlo y viceversa.

Por lo anterior, no siempre resultará adecuado escoger un sustrato basándose exclusivamente en las propiedades de un sustrato considerado ideal. Flores (2007) lo explica de la siguiente manera: no existe un material que reúna las características físicas y químicas ideales para todos los usos y que se pueda adaptar a todas las necesidades y circunstancias en los diversos cultivos.

Otros aspectos del rendimiento que resultaron interesantes, tuvieron que ver con las características agronómicas de los híbridos, por un lado la combinación Tuzontle-Dundee, presentó precocidad (25.5 DPF) y alto rendimiento (108.45 ton ha⁻¹), y por otro lado con la combinación del tezontle con los tres cultivares se obtuvieron los mayores rendimientos (112.33 a 106.15 ton ha⁻¹), sin embargo estas tres combinaciones no representaron a las plantas de mayor altura (3.70 a 4.00 m), sino a las plantas de altura baja a media (3.17 a 3.67 m).

El rendimiento y la calidad por tamaño del fruto resultó ser afectado de manera altamente significativa ($p \leq 0.01$) tanto por los sustratos como por los tratamientos.

El gran reto es aumentar el rendimiento y la calidad del tomate de manera redituable y conjunta, algunos investigadores (Riek, 1974; Ho y Hewitt, 1986; Eshed y Zamir, 1994; citados por González *et al.*, 2004) señalan que resulta problemático incrementar simultáneamente la producción y la calidad del tomate cultivado, pues manifiestan, que el rendimiento y el contenido en sólidos solubles totales parecen estar inversamente relacionados. Al evaluar este fenómeno en los promedios de los cortes 4 y 8, se observó que el 66.67% de los tratamientos presentaron esta condición, comprobándose lo citado por González *et al.* (2004), sin embargo esto no sucedió así en el 33.33%, donde hubo incrementos tanto de rendimiento como de

*Brix, manifestándose un tercio de posibilidad de incrementar de manera simultánea la dulzura de los frutos y el rendimiento.

Los resultados del presente trabajo permiten visualizar de manera importante que combinación de híbrido y sustrato utilizar cuando se requiera satisfacer un sector del mercado de tomate, ya sea para exportación, industria o consumo en fresco, así como la interacción más adecuada para obtener un determinado rendimiento y su consiguiente valor económico.

Sustratos

El sustrato mejor evaluado fue el Tezontle, los cultivares en este sustrato obtuvieron un rendimiento comercial en fruto de 109 ton ha⁻¹, sobresaliendo además con los siguientes parámetros de calidad de frutos: mayor rendimiento por calibres superiores (86.7 ton ha⁻¹), más firmeza (1.73 kg), mayor brillantez (L* = 44.66), más dulzor (4.26 °Brix), y mayor contenido de licopenos (6.191 mg 100 g⁻¹) y de β-carotenos (0.155 mg 100 g⁻¹) en el estadio maduro rojo.

La Fibra de coco coadyuvó para que las plantas fueran más altas (3.73 m) y tardaran menos días en producir su primera flor (25 días), en este sustrato se obtuvo el segundo lugar en rendimiento comercial (91.9 ton ha⁻¹) y en rendimiento por calibres mayores (60.7 ton ha⁻¹) de frutos. También fue el segundo mejor evaluado en la producción de frutos con más brillo (L* = 44.64), y se obtuvieron los frutos menos dulces (3.89 °Brix) y menos ácidos (pH = 4.31).

Perlita cumplió en un 100% con las propiedades físicas del sustrato ideal, sin embargo fue el sustrato en el que se produjeron los menores rendimientos de frutos, tanto comercial (75.7 ton ha⁻¹) como por calibres mayores (51.3 ton ha⁻¹), pero destacó en los siguientes parámetros de calidad de frutos: mejoró el color rojo de acuerdo a los índices a* (13.81) y a*b* (0.609), y coadyuvó a incrementar el peso específico (1.014 g cm⁻³).

Cultivares

El cultivar mejor evaluado fue Starbuck, porque obtuvo el rendimiento comercial más alto (94.2 ton ha⁻¹) y el mayor rendimiento por calibres superiores (73.4 ton ha⁻¹) de frutos. También este cultivar presentó las plantas más altas (3.83 m) y tardó más tiempo para entrar a floración (27.2 días). En lo que se refiere a la calidad de sus frutos, fue el segundo mejor evaluado en los siguientes parámetros: firmeza (1.63 kg), peso específico (1.002 g cm⁻³), brillantez (L* = 44.17), contenido de β-carotenos

(0.086 g cm⁻³), potc
totales (^oBrix = 4.1).

El cultivar Silvana fue el segundo mejor evaluado en rendimiento comercial (92.3 ton ha⁻¹) y en rendimiento por calibres mayores (62.9 ton ha⁻¹) de frutos. Cualitativamente obtuvo los siguientes atributos en sus frutos: más firmeza (1.84 kg), mayor peso específico (1.007 g cm⁻³), más brillo (L* = 45.96), mayor tonalidad amarilla en su pericarpio (b* = 22.87), más dulzor (^oBrix = 4.2) y menos acidez (pH = 4.33).

Por su parte el cultivar Dundee, obtuvo tanto el rendimiento comercial más bajo (90.2 ton ha⁻¹) como el rendimiento por calibres mayores (62.5 ton ha⁻¹) de frutos. También fue el más precoz para entrar en producción (25.2 días a primera flor), y promedió en los cuatro estadios los frutos más rojos (a* = 15.95), el valor más alto para la relación de los índices de color a*:b* (0.723), así como un mayor contenido de licopenos (4.176 mg 100 g⁻¹) y de β-carotenos (0.104 mg 100 g⁻¹).

Interacción sustritos x cultivares

Desde el aspecto cuantitativo la mejor interacción fue Tezontle-Starbuck, aun cuando resultó la más tardía para entrar en producción (28.8 días a primera flor), obtuvo el mayor rendimiento comercial de frutos (112.33 ton ha⁻¹) y el más alto rendimiento comercial por calibres mayores (99.4 ton ha⁻¹). Cualitativamente, esta interacción fue la segunda mejor evaluada en sólidos solubles totales (^oBrix = 4.32) y ocupó el tercer lugar en la obtención de frutos más firmes (3.716 kg).

La interacción Tezontle-Dundee fue la segunda mejor evaluada en rendimiento comercial de frutos (108.45 ton ha⁻¹) y en rendimiento de frutos por calibres mayores (81.7 ton ha⁻¹). También fue la que en promedio obtuvo los frutos más rojos (a* = 16.61), el valor más alto para la relación a*:b* (0.736), los frutos con mayor contenido de licopenos (4.22 mg 100 g⁻¹) y de β-carotenos (0.104 mg 100 g⁻¹).

La interacción Tezontle-Silvana fue la tercera mejor evaluada en rendimiento comercial de frutos (106.15 ton ha⁻¹), así como en rendimiento de frutos por calibres

mayores (78.8 ton ha⁻¹). Esta interacción obtuvo los frutos más firmes (1.92 kg) con más brillo (L* = 47.232), de tonalidad más amarilla (b* = 24.145), más dulces (°Brix = 4.42) y con menor acidez (pH = 4.35). También fue la segunda mejor evaluada en peso específico de frutos (1.025 g cm⁻³).

LITERATURA CITADA

- Abad, M., Martínez, P. F., Martínez, M. D., Martínez, J. 1993. Evaluación Agronómica de los Sustratos de Cultivo. *Actas de Horticultura*, 11, 141-154.
- Abad M. y Noguera P. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: Carlos Cadahia (Coord.) *Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales*. 2ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 287-342.
- Abeles, F., Morgan, P., Saltveit, M. 1992. *Ethylene in plant biology*, 2 ed. California Academic Press. 414 p.
- Aguiño, E. y F., Artes. 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. *Compendios de Horticultura*, 15. Ediciones de Horticultura S.L. Reus, España.
- Aguilera C., M. y R., Martínez E. 1996. *Relaciones agua suelo planta atmósfera*. 4ª Ed. Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México. 256 p.
- AMHPAC. 2008. Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A. C.
- AMPHI. 2004. Asociación Mexicana de Productores de Hortalizas en Invernadero
- AMPHI. 2005. Asociación Mexicana de Productores de Hortalizas en Invernadero
- Anscena, J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 172 p.
- Badui D. S. 2006. *Química de los alimentos*. Pearson Educación, México. 716 p.
- Baixaui, S., C. y J. Aguilar O. 2000. *Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias*. Generalitat Valenciana, España. Conselleria de Agricultura Pesca y Alimentación. 110 p.

- Bastida T., A. 2007. Manejo de Condiciones Ambientales bajo Invernaderos. En: Morales Parada J. T. e I. Miranda Velásquez (Eds). Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. p. 11-40.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agronómicas. Madrid, España. 342 p.
- Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de planta en maceta. En: Rev. Chapingo, serie horticultura. Vol. V. Núm. 1. 1999. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Carretero C., I. *et al.* 2002. Técnicas en Agricultura. Tomo I Cultural. Madrid, España. 186 p.
- Castellanos, J. Z. 2004. La Calidad del Agua. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2^a Ed. INTAGRI. México. p. 46-58.
- _____. 2004. La Industria de la Horticultura Protegida en México. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2^a Ed. INTAGRI. México. p. 1-17.
- _____. 2004. Manejo de la Fertilización en Suelo. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2^a Ed. INTAGRI. México. p. 105-123.
- _____. y P. Vargas T. 2004. El Uso de Sustratos en la Horticultura bajo Invernadero. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2^a Ed. INTAGRI. México. p. 124-150.
- Castilla P., N. 2001. Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: F. Nuez (Coord.) El cultivo del tomate. Reimpresión. Mundo-Prenta, España. p. 190-225.

- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. 2007. Monografía del Tomate. Gobierno del Estado de Veracruz, p. 2.
- Cook, R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Universidad de California, Davis. Disponible en Web: <http://postharvest.ucdavis.edu/datasorefiles/234-773.pdf> (Referencia: 7 de julio de 2009).
- Costa, L. C. G. y M. A. P. Campos. 1985. Índices físicos e físicoquímicos em tomates. *Pesq. agropoc. bras.* 20(9):1101-1114. Brasília.
- Díaz S., F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias de IV Simposio Nacional de Horticultura Invernaderos. Diseño, Manejo y Producción. Editores: Sánchez R., F. J., A. Moreno R., J. L. Puente M. y J. Araiza Ch. Torroón, Coahuila, México. Disponible en Web: <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/04-Seleccion-sustratos-prodhortinvernadero.pdf> (Referencia: 7 de julio de 2009).
- Díaz N., M. J. 2001. Tipos varietales. En: F. Nuez (Coord.) El cultivo del tomate. Reimpresión. Mundi-Prensa. España, p. 94-129.
- Espinosa Z., C. 2004. Producción de tomate en invernadero. En: Sánchez R., F. J., A. Moreno R., J. L. Puente M. y J. Araiza Ch. (Eds). Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torroón, Coah., México. Consulta en Web: http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03-Prod_tomate_invernadero.pdf (Referencia: 7 de julio de 2009).
- Esquinas-Alcázar, J. y F. Nuez. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. En: F. Nuez (Coord.) El cultivo del tomate. Reimpresión. Mundi-Prensa. España, p. 13-42.

- Echeverys B., J. D. 1997. Evaluacion del Estado Nutricional del Suelo y de los Cultivos Ferti-irrigados. *Memoria Técnica, 2º Simposium Internacional de Ferti-irrigación*. Querétaro, México. p. 51-60.
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Dirección de estadística de la FAO. Disponible en Web <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Consulta: 7 de julio de 2009).
- Flores E., G., *et al.* 2007. Cultivo en sustrato con sistema abierto y sistema cerrado. En: Morales Parada J. T. e I. Miranda Velásquez (Eds). *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. p. 41-75.
- Fuentes Y., J. L. 1998. *Técnicas de Riego*. Tercera Edición. Mundi-Prensa. España. 471 p.
- Fundación Produce Oaxaca A.C. 2007. Situación actual del cultivo del jitomate. En *Rev. Agroproduce*. Fundación Produce Oaxaca A.C. México. p. 3.
- Garriz R., A. *et al.* 2001. *Tú y la Química*. Primera Edición. Pearson Educación. México. 808 p.
- Gil V., I. 2007. El Cultivo del Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). En: Morales Parada J. T. e I. Miranda Velásquez (Eds). *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. p. 157-176.
- Gómez, P. A.; Carnelo, A. F. L. 2002. Calidad Postcosecha de Tomates Almacenados en Atmosferas Controladas. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 1, p. 38-45.

- González C. A., *et al.* 2004. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. En: *Manual de cultivo sin suelo*. Coord. Urrestarazu Gavilán, Miguel. Universidad de Almería. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 703-748.
- Grenleaf, C. A. 1961. Tomato juice. In: Trezler, D. L. & Joslyn, M. A. *Fruit and vegetable juice*. Westport, NY: 970-980 p.
- Hernández O., J. 2007. Introducción, Generalidades y Principios de la Hidropomía. En: Morales Parada J. T. e I. Miranda Velásquez (Eds), *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. p. 2-10.
- _____. 2007. Manejo de la Solución Nutritiva Preparada en Forma Directa y en Forma Concentrada. En: Morales Parada J. T. e I. Miranda Velásquez (Eds). *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. p. 267-303.
- Hochmuth, G. and Hochmuth, R. 1996. Nutrient Solution Formulation for Hidropomic (Perlite, Rockwool NTF) Tomatoes in Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 109: 174-177 pp.
- Jaramillo, N. J., V. Rodríguez P., M. Guzmán A., M. Zapata y T. Rengifo M. 2007. *Manual técnico. Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. CORPOICA-MANA-GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA-FAO. 331 p.
- Jasso Ch. C., M. A. Martínez G., A. G. Alpuche S., y E. Garza U. 2009. *Evaluación de sistales e híbridos de jitamate en condiciones de invernadero*. *Compe Experimental San Luis*. Folleto Científico Num. 4. SAGARPA-INIFAP-CIRNE. San Luis Potosí, México. 29 p.

- Lara, H.A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Disponible en web <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art221-229.pdf> (Fecha de referencia: 7 de julio de 2009).
- León, A., R. 1991. Nueva Edafología. Regiones Tropicales y Areas Templadas de México. Características y Propiedades de los Terrenos y su Influencia Agrícola. Segunda Edición. Fontamara, México. 366 p.
- León G., H. M. 2001. Manual para el Cultivo de Tomate en Invernadero. Gobierno del Estado de Chihuahua, México. 239 p.
- Little, T. M. y F.J. Hills. 1985. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Sexta reimpresión. Trillas, México. 270 p.
- Maroto B., J. V. 1992. Horticultura herbácea especial. MUNDI-PRENSA. 3a. Ed., Madrid España. p. 335-336.
- Miller, E. V. 1981. Fisiología Vegetal, UTEHA, México. 344 p.
- Molina, R. J. 2005. Situación y perspectivas de la industria de invernaderos en México. In: 5º Congreso Internacional. AMPH. México.
- Morano I., T. 2004. Cultivo en Perfito. En: Urrestarazu Gavilán, Miguel (Coord.). Tratado de Cultivo sin Suelo. Universidad de Almería. Mundi-Prensa. Madrid, España. 914 p.
- Muñoz R., J. J. 2004. Manejo del Cultivo de Tomate en Invernadero. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2a Ed. INTAGRI. México. p. 231-256.

- Nelson, P. V. 1978. Greenhouse operation and management. Department of Horticultural Science North Carolina State University. Prentice-Hall Company. Reston, Virginia, U.S.A. 518 p.
- Nuez, F. 2001. Desarrollo de nuevos cultivares. En: F. Nuez (Coord.) El cultivo del Tomate. Reimpresión Mundi-Prensa. España. p. 625-669.
- Palacios V., O. y Aceves N., E. 1970. Instructivos para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- Pérez, G., M., F. Márquez y A. Peña-Lomeli. 1997. Mejoramiento genético de hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo.
- Peñá E., F. 2000. Cultivo en fibra de coco. En: Urrestiarazu Gavilán, Miguel (Coord.) Manual de cultivo sin suelo. Universidad de Almería, Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Pire, R. y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado Lara, Venezuela. *Propuesta Metodológica. Biogro*, ene. 2003, vol.15, no 1, p.55-64. ISSN 1316-3364.
- Reid, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Quinta edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- Riquelme B., F. 2001. Postcosecha del tomate para consumo en fresco. En: F. Nuez (Coord.) El cultivo del tomate. Reimpresión. Mundi-Prensa. España. p. 589-623.
- Rodríguez F., H., S. Muñoz L. y E. Alcorta G. 2006. El tomate rojo. Sistema hidropónico. Trillas. México. 82 p.

- Rodríguez H., R. y E., Bravo M. 2007. Estructuras reguladoras del microambiente: Conceptualización para la producción moderna de hortalizas. En: Rev. Agroproduce. Ed. Fundación Produce Oaxaca, A.C. México.
- Sanchez E., *et al.* 2008. Caracteres de calidad de diferentes tipos de tomates murciano. En: VIII Congreso SEAE, Bullas, Murcia 2008. España.
- SAS Institute. 1993. SAS/STAT user's guide, release 6.03. SAS Inst., Cary, N.C.
- SEDARH. 2005. Diagnostico del Sistema Producto Jitomate en San Luis Potosí. Comité Estatal del Sistema Producto Jitomate, S.L.P., México.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Avances de siembras y cosechas. Año agrícola Riego – temporal. Disponible en Web: http://reportes.siap.gob.mx/agricola_siap/cultivo/index.jsp (Consulta: 6 de julio de 2009).
- Siller C., J. H. 2004. Recolección, empaque y manejo poscosecha de tomate. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª Ed. INTAGRI. México. p. 345-362.
- Steta G., M. 2003. Panorama de la hortaliza en México. Memorias. 4º Congreso Internacional. Producción de Hortalizas en Invernadero.
- Tucker, G., Robertson, N., Grierson, D. 1980. Changes in polygalacturonase isoenzymes during the ripening of normal and mutant tomato fruit. *European Journal of Biochemistry*, v. 112, p. 119-124.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2007. United States standards for grades of greenhouse tomatoes. Disponible en Web: <http://www.ams.usda.gov/AMSv1.0/getfile?dDocName=ST11LPRDC5050352> (Consulta: 7 de julio de 2009).

- Valadez, L. A. 1998. Producción de hortalizas. Séptima reimpresión. Limusa, México, D. F. 298 p.
- Valenzuela, J. G. 2004. Manejo de Enfermedades en Hortalizas bajo Invernadero. En J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª Ed. INATAGRI México. p. 318-344.
- Wills, R., *et al.* 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Acribia, Zaragoza, España. 240 p.
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L., Schwab, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides, en *Ciencia, Docencia y Tecnología*, No. 34, Año XVIII, mayo de 2007, p. 207-226.
- _____, Gerard, L., Davies, C., Schwab, M. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates, en *Ciencia, Docencia y Tecnología*, No. 35, Año XVIII, noviembre de 2007, p. 175-193.

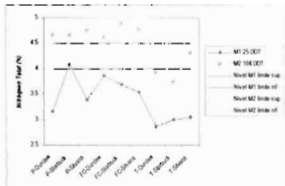
APÉNDICE

Apéndice 1. Niveles de referencia de macronutrientes en tejido vegetal en el cultivo del tomate (Castellanos, 2004)

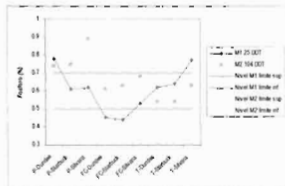
DDT	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
15	4.0 - 4.5	0.5 - 0.8	3.5 - 5.0	2.0 - 3.0	0.5 - 0.7	0.5 - 0.9
50	4.0 - 4.5	0.5 - 0.7	3.5 - 5.0	2.0 - 3.0	0.4 - 0.7	0.5 - 0.9
45	3.3 - 3.7	0.5 - 0.7	3.5 - 5.0	2.0 - 3.0	0.4 - 0.7	0.5 - 0.9
90	3.3 - 3.7	0.4 - 0.6	3.5 - 5.0	2.5 - 3.0	0.4 - 0.7	0.5 - 0.9
120	3.3 - 3.7	0.35 - 0.7	4.0 - 5.0	2.5 - 3.0	0.4 - 0.7	0.4 - 0.7
150	3.3 - 3.7	0.35 - 0.7	4.0 - 5.0	2.5 - 3.0	0.4 - 0.7	0.4 - 0.7
200	3.3 - 3.7	0.35 - 0.7	4.0 - 5.0	2.5 - 3.0	0.4 - 0.7	0.4 - 0.7

Apéndice 2. Niveles de referencia de micronutrientes en tejido vegetal en el cultivo del tomate (Castellanos, 2004)

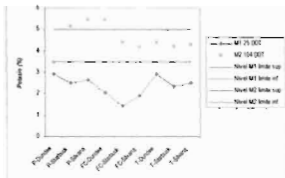
DDT	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)
15	80 - 150	5 - 15	20 - 50	60 - 200	30 - 50
50	80 - 150	5 - 15	20 - 50	60 - 200	30 - 50
45	80 - 150	5 - 15	20 - 50	60 - 200	40 - 60
90	60 - 100	5 - 15	20 - 50	60 - 200	40 - 60
120	60 - 100	5 - 15	20 - 50	60 - 200	40 - 60
150	60 - 100	5 - 15	20 - 50	60 - 200	40 - 60
200	60 - 100	5 - 15	20 - 50	60 - 200	40 - 60



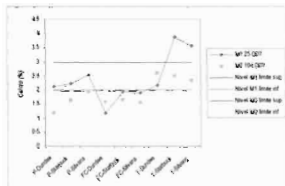
Apéndice 3. Dinámica nutricional del Nitrógeno total en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



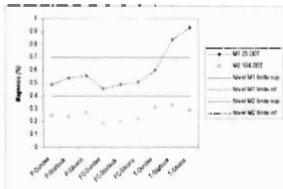
Apéndice 4. Dinámica nutricional del Fósforo en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



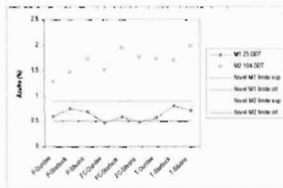
Apéndice 5. Dinámica nutricional del Potasio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



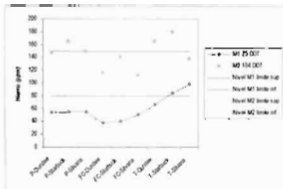
Apéndice 6. Dinámica nutricional del Calcio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



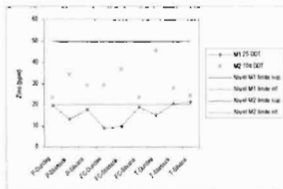
Apéndice 7. Dinámica nutricional del Magnesio en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



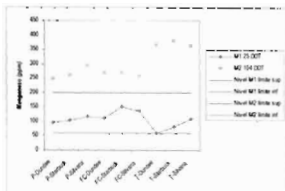
Apéndice 8. Dinámica nutricional del Azufre en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



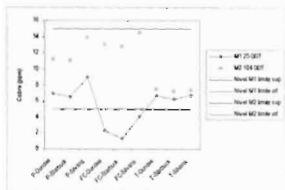
Anexo 9. Dinámica nutricional del Hierro en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



Apéndice 10 Dinámica nutricional del Zinc en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



Apéndice 11. Dinámica nutricional del Manganeso en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.



Apéndice 12. Dinámica nutricional del Cobre en dos muestreos foliares, a los 25 y a los 104 días después del trasplante.