

F
Tests
3112
C-2

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**SUSTRATOS Y MANEJO NUTRIMENTAL EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)**

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

SANTAMARIA MIRANDA JESSICA

Abril de 2009

Chapingo, Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura



BIBLIOTECA

**SUSTRATOS Y MANEJO NUTRIMENTAL EN LA
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRESA (*Fragaria x ananassa*
Duch.)**

Tesis realizada por **Jessica Santamaría Miranda** bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

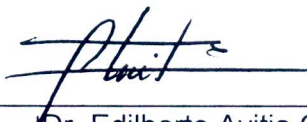
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Directora:



Dra. Ana María Castillo González

Asesor:



Dr. Edilberto Avitia García

Asesor:



Dra. María Teresa Colinas León

Chapingo, México; Abril de 2009

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura por haberme dado una formación académica de excelencia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para llevar a cabo mis estudios de Maestría.

A la Dra. Ana María Castillo González, por ser una excelente persona y una buena amiga, por sus observaciones para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Edilberto Avitia García por su valiosa ayuda y colaboración para la realización de esta investigación.

A la Dra. María Teresa Colinas León por acceder ser parte del jurado, por sus observaciones y correcciones para la realización del presente trabajo.

Al M.C. Joel Pineda Pineda por su motivación orientación y ayuda durante el desarrollo del experimento.

A mis profesores del Postgrado en Horticultura, por compartir su experiencia profesional y conocimientos académicos.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente tesis, Ingeniero Agrónomo Jessica Santamaría Miranda, nació el 23 de Abril de 1984 en el estado de Morelos. En 1999 ingresó a la Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo y en el 2002 cursó la especialidad de Parasitología Agrícola en la misma Universidad. Fue prestadora de servicio social en Viveros Unidos de Tlayacapan S.R.L. Microindustrial y Grupo Cacahuatla, en el municipio de Tlayacapan, Morelos; donde realizó monitoreo y control de plagas y enfermedades en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero. Estuvo en la Oficina de Inspección y Sanidad Agropecuaria (OISA-SENASICA) en Altamira, Tamaulipas; donde realizó inspección fitosanitaria en productos agropecuarios y plagas de importancia cuarentenaria.

INDICE

	Página
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Importancia de la fresa.....	4
3.1.1. Situación a nivel mundial.....	4
3.1.2. Situación a nivel nacional.....	5
3.2. Sustrato.....	6
3.3. Sustratos Utilizados en Cultivos Hidropónicos.....	7
3.3.1. Tezontle.....	8
3.3.2. Vermiculita.....	9
3.3.3. Turba.....	10
3.3.4. Fibra de coco.....	12
3.4. Antecedentes de Sustratos Utilizados en el Cultivo de Fresa.....	14
3.5. Caracterización de Sustratos.....	17
3.5.1. Características físicas de los sustratos.....	18
3.5.1.1. Granulometría.....	18
3.5.1.2. Espacio poroso.....	20
3.5.1.3. Densidad aparente y densidad real.....	21
3.5.1.4. Capacidad de aireación.....	21
3.5.1.5. Retención de humedad.....	22
3.5.2. Características Químicas de los Sustratos.....	23
3.5.2.1. Capacidad de intercambio catiónico.....	23

3.5.2.2. Disponibilidad de nutrimentos.....	25
3.5.2.3. Salinidad.....	25
3.5.2.4. pH.....	26
3.6 Criterios para la Elección de un Sustrato.....	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
4.1. Localización.....	30
4.2. Material Vegetal.....	30
4.3. Sustratos.....	31
4.4. Características Físicas de los Sustratos.....	32
4.4.1. Densidad aparente.....	33
4.4.2. Densidad real.....	33
4.4.3. Porosidad total o espacio poroso total.....	34
4.4.4. Capacidad de aireación.....	34
4.4.5. Capacidad de retención de humedad.....	35
4.4.6. Granulometría.....	35
4.5. Solución Nutritiva.....	36
4.6. Tratamiento Evaluados.....	37
4.7. Unidad y Diseño Experimental.....	38
4.8. Variables Evaluadas.....	38
4.8.1. Fruto.....	38
4.9. Variables Vegetativas.....	39
4.9.1. Área foliar.....	39
4.9.2. Volumen radical.....	40
4.9.3. Peso seco.....	40
4.10. Concentración nutrimental.....	40
4.11. Análisis Estadístico.....	41
5. RESULTADOS.....	42
5.1. Características Físicas de los Sustratos.....	42
5.1.1. Densidad aparente.....	42
5.1.2. Densidad real.....	42
5.1.3. Porosidad total.....	43
5.1.4. Capacidad de aireación.....	43
5.1.5. Retención de humedad.....	44

5.1.6. Granulometría.....	44
5.2. Variables de Fruto.....	45
5.2.1. Longitud.....	45
5.2.2. Diámetro.....	47
5.2.3. Peso por fruto.....	47
5.2.4. Sólidos solubles.....	47
5.2.5. Número de frutos por planta.....	47
5.2.6. Rendimiento.....	48
5.2.7. Acidez titulable.....	48
5.2.8. pH.....	49
5.3. Variables Vegetativas.....	49
5.3.1. Área foliar.....	49
5.3.2. Volumen de la raíz.....	51
5.3.3. Peso seco de hoja.....	51
5.3.4. Peso seco de inflorescencia.....	51
5.3.5. Peso seco de estolones.....	53
5.3.6. Peso seco de raíz.....	53
5.4. Concentración Nutrimental en Hojas de Fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	53
5.4.1. Macronutrientes.....	53
5.4.1.1. Nitrógeno.....	53
5.4.1.2. Fósforo.....	56
5.4.1.3. Potasio.....	57
5.4.1.4. Calcio.....	58
5.4.1.5. Magnesio.....	59
5.4.1.6. Azufre.....	60
5.4.2. Micronutrientes.....	63
5.4.2.1. Hierro.....	63
5.4.2.2. Zinc.....	64
5.4.2.3. Manganeseo.....	65
6. DISCUSIÓN.....	67
7. CONCLUSIONES.....	73
8. LITERATURA CITADA.....	74

9. ANEXO.....	80
---------------	----

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de sustratos empleados en el cultivo de fresa, cvs. Roxana y Japonesa.....	31
Cuadro 2. Análisis químico del agua de la llave del invernadero (Chapingo, Mex., agosto de 2007).....	36
Cuadro 3. Solución nutritiva para el cultivo de fresa en invernadero de acuerdo a Jones (2004) y León y Martínez (2004).....	37
Cuadro 4. Tratamientos para el cultivo en invernadero de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	38
Cuadro 5. Composición y características físicas de los sustratos utilizados en el cultivo de fresa cvs. Roxana y Japonesa....	43
Cuadro 6. Porcentaje de partículas granulométricas, de los sustratos utilizados en el cultivo de fresa cvs. Roxana y Japonesa....	45
Cuadro 7. Longitud, diámetro, peso por fruto, °Brix, número de frutos por planta y rendimiento en fresa cvs. Roxana y Japonesa, cultivadas en diferentes sustratos.....	46
Cuadro 8. Longitud, diámetro, peso por fruto, °Brix, número de frutos por planta y rendimiento para los cvs. Roxana y Japonesa.	46
Cuadro 9. Evaluación de la acidez titulable y el pH en cada tratamiento de los cvs. de fresa Roxana y Japonesa.....	48
Cuadro 10. Contenido de acidez titulable y pH en los frutos de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	49
Cuadro 11. Efecto de diferentes mezclas como sustratos en el área foliar y volumen de raíz en plantas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	50
Cuadro 12. Área foliar y volumen de raíz en planta de fresa de los cvs. Roxana y Japonesa.....	50
Cuadro 13. Peso seco de hojas, inflorescencia, estolones y raíz en plantas de fresa cvs. Roxana y Japonesa, cultivadas en diferentes sustratos.....	51

Cuadro 14. Peso seco de hojas, inflorescencia y raíz en planta de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	52
Cuadro 15. Concentración de macronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa cultivados en diferentes sustratos.....	62
Cuadro 16. Concentración de macronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	62
Cuadro 17. Concentración de micronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa cultivados en diferentes sustratos.....	66
Cuadro 18. Concentración de micronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coloración rojiza en hoja madura de fresa causada por deficiencia de Nitrógeno cultivadas en el sustrato tezontle + Cosmo peat	55
Figura 2. Deficiencia de N en fresa cultivadas en tezontle + Cosmo peat causando amarillamiento y manchas necróticas en hojas adultas.....	55
Figura 3. Hoja de fresa adulta con coloración amarilla (síntoma de deficiencia de Azufre) cultivada en el sustrato tezontle + fibra de coco.....	61
Figura 4. Daño severo en márgenes de hojas con coloraciones púrpura causadas por deficiencia de S (sustrato tezontle + Promix).....	61

SUSTRATOS Y MANEJO NUTRIMENTAL EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRESA
(*Fragaria x ananassaa* Duch.)

SUBSTRATES AND NUTRIENT MANAGEMENT IN PRODUCTION AND QUALITY OF STRAWBERRY (*Fragaria x ananassaa* Duch.)

Jessica Santamaría Miranda¹, Ana María Castillo González²

RESUMEN

La fresa es una frutilla importante en la dieta de millones de personas, conocida por su delicado sabor y contenido de vitaminas; su cultivo destaca por ser generador de divisas debido a sus exportaciones tanto en estado fresco como congelado. El principal comprador es E.U.A. y los estados de Michoacán y Baja California son los principales productores de esta frutilla en México. Con el propósito de mejorar la producción y calidad de la fresa, en este trabajo se determinó el sustrato más adecuado para cultivarla bajo condiciones de invernadero, para lo cual se evaluó el efecto del tezontle y tres mezclas de tezontle con un sustrato de origen orgánico, con dos concentraciones de solución nutritiva, en la producción y calidad de dos cultivares de fresa (Roxana y Japonesa). Los tratamientos fueron: tezontle + solución nutritiva completa, tezontle + solución 75 %, tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + solución 75 %, tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + solución 75 % y tezontle + Promix (1:1 v/v) + solución 75 %. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial 2X5 con 10 repeticiones y la unidad experimental fue una maceta con una planta. Los resultados indican que en ambos cultivares, el tezontle + Promix (1:1 v/v) + solución 75 % produjo los frutos de mayor longitud (26.33 mm), peso (7.15 g), plantas con mayor número de frutos (20.10) y rendimiento (146.39 g planta⁻¹); así mismo a partir de un análisis foliar en este sustrato se obtuvieron las concentraciones de los nutrimentos P, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn en intervalos de suficiencia. Roxana fue el cultivar que tuvo mayor rendimiento aunque el cultivar Japonesa presentó mejor calidad de fruto. Por lo tanto, la mezcla de tezontle + Promix fue el mejor sustrato evaluado. Sin embargo, la mezcla de tezontle + fibra de coco, aunque no presentó los mejores rendimientos también se puede considerar como una segunda alternativa para el cultivo de fresa por su bajo costo y fácil adquisición.

Palabras clave: Solución nutritiva, fibra de coco, tezontle, rendimiento.

ABSTRACT

The strawberry is an important small fruit in the diet of millions of people, known for its delicate flavor and vitamin content; it stands out as a growing generator of foreign exchange as it is exported in both fresh and frozen states. The main buyer is the U.S.A. and the states of Michoacan and Baja California are the main strawberry producers in Mexico. To improve strawberry production and quality, this study determined the most effective substrate with which to cultivate it under greenhouse conditions. This entailed evaluating the effect of tezontle and three mixtures of tezontle with a substrate of organic origin, fertilized with two concentrations of nutrient solution, on the production and quality of two strawberry cultivars (Roxana and Japanese). The treatments were: tezontle + complete nutrient solution, tezontle + solution 75%, tezontle + coconut fiber (1:1 v / v) + solution 75%, tezontle + Cosmo peat (1:1 v / v) + solution 75% and tezontle + Promix (1:1 v / v) + solution 75%. The experimental design was completely random, with a 2X5 factorial treatment design with 10 repetitions; the experimental unit was one plant per pot. The results indicate that in both cultivars, the tezontle + Promix (1:1 v / v) + solution 75% produced greater fruit length (26.33 mm), weight (7.15 g), plants with a greater number of fruits (20.10) and yield (146.39 g plant⁻¹); in addition, a foliar nutrient analysis of this substrate showed that the concentrations of the nutrients P, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn are in intervals of proficiency. Roxana was the cultivar that had higher yield although the Japanese cultivar showed a better quality of fruit. Therefore, the mixture of tezontle + Promix was the best substrate tested. However, the mixture of tezontle + coconut fiber, although it did not provide the best yields, could also be considered as a second option for strawberry growers because of its low cost and easy acquisition.

Key words: Nutrient solution, coconut fiber, tezontle, yield.

1. INTRODUCCION

El cultivo de fresa se incrementa día a día, paralelo a las demandas del mercado. No sólo se consume en fresco, sino que se destina una gran cantidad para producción de zumos para la industria, siendo una de las frutas que obtiene las más elevadas cotizaciones en los mercados.

El enorme interés de este fruto hace que tome importancia cualquier sistema que tienda a aumentar la cantidad o calidad de la cosecha. En el cultivo de las fresas se han utilizado todos los tipos de producción que se conocen en horticultura (acolchado de suelo, túneles, cultivo en columna vertical, invernadero, entre otros).

La utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas sencillos de control climático, equipos de riego y fertilización automatizados; se han difundido ampliamente con el fin de mejorar el crecimiento y el desarrollo de las plantas y, consecuentemente, aumentar la productividad e incrementar la calidad de los frutos. Por tal motivo, en las últimas décadas se ha sustituido gradualmente el cultivo tradicional en el suelo por el cultivo en sustrato.

El cultivo de las plantas en sustrato permite un control riguroso del medio ambiente radicular, particularmente de los aspectos relacionados con el su-

ministro de agua y de nutrientes, facilitando así una fuerte intensificación del cultivo.

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier sustrato de cultivo es producir una planta y cosecha de calidad en el más corto período de tiempo, con los más bajos costos de producción. En adición, el sustrato no debe provocar un impacto negativo de importancia en el medio ambiente. Los sustratos que más comúnmente se usan en la horticultura protegida en los sistemas de cultivo sin suelo son: perlita, vermiculita, lana de roca, tezontle, arena, turba, corteza de pino y fibra de coco (Castellanos y Vargas, 2004).

Para las plantas cultivadas en condiciones intensivas, el objetivo del agricultor es impedir que el suministro de nutrimentos imponga limitaciones en el rendimiento, por lo cual, es necesario que las plantas dispongan de todos los nutrimentos minerales esenciales y que la velocidad de suministro de cada uno sea, al menos igual a la demanda de los cultivos, ya que la falta o exceso de estos elementos genere reacciones en la plantas modificando su comportamiento.

Por lo anterior, es importante hacer una buena selección del sustrato a utilizar, ya que de éste, entre otros componentes, depende el éxito o fracaso de la producción.

2. OBJETIVOS

- Determinar el sustrato más adecuado para el cultivo de fresa en invernadero.
- Evaluar y comparar el rendimiento de dos cultivares de fresa manejada bajo condiciones de invernadero con dos dosis de fertilización.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Importancia de la Fresa

La fresa en los últimos años y en muchos países ha alcanzado notable desarrollo, mayor que las demás especies de frutos pequeños con los que tradicionalmente se le asocia: frambuesa, zarzamora, mora, etc (Branzanti, 1989). La fresa es muy apreciada como postre, consumida directamente con vino, nata, nueces, etc. También presenta gran número de aplicaciones en la obtención de extractos, para dar sabor de “fresa” a muchos preparados, como licuados, yogur, pasteles, etc. Es muy empleada en la fabricación de mermeladas, confituras, conservas o simplemente como producto congelado. La apreciación de este fruto además de basarse en su aroma y sabor, se fundamenta en su riqueza en vitamina C (Maroto, 2002).

3.1.1. Situación a nivel mundial

La producción anual de fresa ha aumentado en los últimos 20 años, el 98 % de la producción se localiza en el hemisferio norte, aunque no hay barreras climáticas o genéricas que eviten su expansión en el hemisferio sur (Hancock, 1999).

Las estadísticas muestran que México es el octavo productor de fresa a nivel mundial y el segundo en el Continente Americano. Estados Unidos de América es el país que mayor producción de fresa tiene (1'115,000 t), repre-

senta 29.17 % de la producción mundial, en tanto que México produce sólo 160,000 t (Anónimo, 2007a).

En el año 2007, el país con mayor área cosechada para el cultivo de fresa fue Polonia con 52,500 ha, seguido por Rusia 38,000 ha y Estados Unidos de América con 22,000 ha. México ocupó el doceavo lugar con 5,000 ha (Anónimo, 2007a).

En el mismo año, el principal país que exportó esta frutilla fue España con 216,641 t; seguido por Estados Unidos con 97,383 t, y en tercer lugar México con 52,357 t siendo Michoacán el estado que mas fresa abastece a nivel nacional (Anónimo, 2007a).

3.1.2. Situación a nivel nacional

Los principales estados productores de fresa a nivel nacional son Michoacán (3,145.75 ha), Baja California Norte y Sur (1,386 y 17.5 ha, respectivamente), Sonora (40 ha) y Estado de México (28 ha). El estado de Guanajuato aunque fue el primero en cultivar esta frutilla, en la actualidad no se reporta superficie sembrada (Anónimo, 2007b).

Para el mismo año, a nivel nacional se cosecharon 4,653.25 ha; obteniéndose 140,153.31 t y un rendimiento promedio de $152.47 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. En el estado de Michoacán se cosecharon 3,139.75 ha, obteniéndose una producción de 89,095.3 t, con un rendimiento promedio de $28.38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, teniendo un costo de producción de 549,660.27 miles de pesos. A pesar de que Baja California Norte cuenta con menor superficie sembrada (1,386 ha)

en comparación con Michoacán, tiene mayor rendimiento ($35.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y menor costo de producción (514,817.96 miles de pesos) (Anónimo, 2007b).

3.2. Sustrato

Las técnicas culturales aplicadas en la producción de plantas y hortalizas, han experimentado cambios rápidos y notables durante las tres últimas décadas. La utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas sencillos de control climático, equipos de riego y fertilización automatizados, etc., se han difundido ampliamente, con el fin de ofrecer nuevos productos, aumentar la productividad de los cultivos e incrementar la calidad de las cosechas (Abad *et al.*, 2005).

Unido a estos cambios tecnológicos, se ha hecho un cambio gradual del cultivo tradicional en el suelo por el cultivo fuera él. Las principales razones de esta situación son: 1) la necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro; 2) la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamientos de los suelos agrícolas; 3) la fuerte intensificación cultural que facilita el cultivo hidropónico y en sustrato, al permitir un control riguroso del medio ambiente radical, especialmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrimentos (Abad *et al.*, 1996).

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 radical, desempeñando, por lo 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.*, 1996).

Los sustratos se usan en los sistemas de cultivo sin suelo, entendiendo como tales a aquellos sistemas en los que la planta desarrolla su sistema radical en un medio sólido y el cual está confinado en un espacio limitado y aislado del suelo. Los cultivos sin suelo se pueden clasificar en cultivos hidropónicos puros (en solución nutritiva con un sistema de oxigenación) y cultivos en sustrato (Urrestarazu, 2004; Cadahía, 2005).

3.3. Sustratos Utilizados en Cultivos Hidropónicos

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen tezontle, arena, vermiculita, perlita, arcilla, piedra pómez, y otros subproductos minerales. Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen: turba (peat moss), fibra de coco, productos de madera compostada (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y cacahuete, etc. (Cabrera, 1999).

3.3.1. Tezontle

El tezontle o escoria volcánica es un material procedente de la erupción de los volcanes y está constituido por silicatos de aluminio, formado por fragmentos de lava porosa, redondeados o irregulares, de 2 a 50 mm, que se formaron al ser emanados por la lava y enfriarse de golpe, constituyendo el manto piroclástico (Burés, 1997).

Existen tres tipos de tezontle utilizados en la horticultura: negro que está ligeramente erosionado y consiste en brechas piroclásticas, el amarillo que es un producto de la erosión del tezontle negro y el rojo que procede de otro tipo de erupción volcánica, cuyo color es debido a la presencia de hierro en forma férrica. El más estimado en horticultura es el tezontle rojo. El tezontle tiene elevada densidad aparente (470 a 900 kg de materia seca por m³), por lo que es un material relativamente pesado. Tiene elevada capacidad de aireación (45 a 65 % en volumen) y poca capacidad de retención de agua fácilmente disponible. Las propiedades físicas varían considerablemente con el tamaño de las partículas, y también varían las propiedades con el origen del material (Burés, 1997).

El tezontle, por sus características, se utiliza como aditivo o enmienda física de materiales orgánicos. Las granulometrías gruesas, por retener muy poca agua fácilmente disponible, conviene mezclarlas con otros materiales con retención de agua más elevada (Burés, 1997).

3.3.2. Vermiculita

La vermiculita natural es un mineral cuya composición es la de un silicato hidratado de magnesio y que pertenece al subgrupo de los filosilicatos (arcillas); es de aspecto parecido a las micas, de las que procede por procesos de alteración. Su densidad varía entre 640 y 950 kg de materia seca por m^3 . Tiene una estructura trilaminar, con moléculas de agua situadas entre las láminas que, al calentar el mineral de un modo rápido, pasa a vapor de manera que el incremento de presión hace que las láminas se expandan en dirección perpendicular a los planos de laminación, con un grueso final que puede ser de más de 20 veces el del material original. La vermiculita se extrae de la mina en forma de escamas marrones o doradas y se clasifica según la granulometría (Burés, 1997).

El pH de la vermiculita es neutro, si bien debido a la presencia de impurezas de naturaleza magnésica puede llegar a presentar una reacción débilmente alcalina. La capacidad de intercambio catiónico es elevada, entre 90 y 150 $me\ 100\ g^{-1}$, y muy similar a la de muchos materiales orgánicos, como por ejemplo, las turbas. Muchas vermiculitas contienen del 5 al 8 % de potasio asimilable, y del 9 al 12 % de magnesio, también asimilable. No adsorbe Cl^- , SO_4^{2-} ni NO_3^- , pero puede llegar a adsorber cantidades importantes de PO_4^{3-} , que queda fuertemente fijado y en condición de no disponible para la planta (Abad *et al.*, 2004).

3.3.3. Turba

Las turbas son restos vegetales en proceso de fosilización y en la actualidad todo el material turbífero que llega a México viene de Canadá y Estados Unidos (Castellanos y Vargas, 2004).

Penningsfeld y Kurzmann (1983) han definido la turba como la forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de modo incompleto a causa de exceso de agua y la falta de oxígeno, que se va depositando con el transcurso del tiempo, lo que favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica, en los que se pueden identificar los restos de diferentes especies vegetales.

El valor hortícola del musgo de turba es debido en primer lugar a las propiedades especiales de las células de *Sphagnum*. La retención de agua por parte de los musgos de la turba es ayudada por el hecho de que las células de *Sphagnum* tienen orificios, por los cuales penetra el agua de las células, y después éstas a todas las partes de la planta (Puustjarvi, 1994).

Como consecuencia de la evolución del perfil en las turberas altas se distinguen dos tipos de turba, en función de su grado de descomposición (Abad *et al.*, 2004):

1. Turba ligeramente descompuesta o turba “rubia”, de color pardo-claro. Corresponde al estrato más superficial y es la formada más recientemente. Es ampliamente utilizada como sustrato hortícola, ya que está poco descompuesta, conservando parcialmente la estructura de los musgos y las plantas que la integran, y posee excelentes propiedades físicas y químicas: estructura mullida, porosidad total elevada, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, elevada capacidad de intercambio catiónico y baja salinidad.
2. Turba fuertemente descompuesta o turba “negra”, de color oscuro. Es la turba más antigua y ocupa los estratos inferiores. Desde el punto de vista hortícola posee una calidad inferior, ya que ha perdido prácticamente su estructura. Sin embargo, la congelación natural de estas turbas negras durante la estación fría, mejora significativamente su calidad y las hace muy útiles para la preparación de sustratos.

La densidad aparente varía entre 0.06 y 0.10 g cm⁻³, para las turbas *Sphagnum* rubias, y hasta 0.30 g cm⁻³ para las negras. El espacio poroso total oscila de 95% (vol.) o más, en el caso de las turbas rubias, hasta menos del 80% (vol.), para las turbas negras muy descompuestas. El pH puede oscilar entre 3.5 (turba ácida) hasta 8.5 (turba eutrófica). Las turbas rubias (poco humificadas) suelen presentar una capacidad de

intercambio catiónico comprendida entre 100 y 110 $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que las eutróficas (muy humificadas), pueden alcanzar valores para dicha propiedad superiores a los 250 $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$. Este material orgánico presenta un bajo nivel de fertilidad, estimado por el contenido en nutrimentos asimilables (Abad *et al.*, 2004; Penningsfeld y Kurzmann, 1983; Puustjarvi, 1994).

La preparación de la turba para su uso hortícola consiste en una humectación previa a su uso, puesto que algunos componentes de la turba tienen características hidrofóbicas y es difícil la rehumectación una vez que se ha secado. Si la turba se mezcla con otros materiales se evita la característica hidrofóbica de la turba. Las turbas ácidas, cuando se utilizan como medio único de cultivo, deben ser encaladas en función de su pH (Burés, 1997).

3.3.4. Fibra de coco

La fibra de coco es un subproducto de la industria del coco que se encuentra disponible en grandes cantidades en los países productores de cocos (*Cocos nucifera*). Los subproductos resultantes del desfibrado de la nuez de coco proceden del mesocarpio de la misma, consisten en fibras largas (que se suelen utilizar para diversas actividades de manufactura), más restos de fibras y polvo. Son generalmente estos restos de fibra, de longitud inferior a 2 mm, los que suelen utilizarse en mezclas como sustratos y se presentan generalmente prensadas en ladrillos que deben deshacerse y rehumedecerse previamente a su uso. Las fibras largas, de longitud superior

a 16 mm, se utilizan como sustratos para el cultivo hidropónico (Burés, 1997). Los países productores de fibra de coco están situados entre los trópicos.

En México se puede encontrar en los estados de Colima, Michoacán y Veracruz (Vargas *et al.*, 2008).

Este material se ha utilizado tradicionalmente para mejorar las propiedades físicas y químicas de los sustratos. La aplicación de fibra de coco mejora la retención de agua, aumenta la disponibilidad de nutrimentos y aumenta la tasa de infiltración, la porosidad total y la conductividad hidráulica de los sustratos donde se utiliza como enmienda. Tiene elevado contenido de potasio y fósforo, por lo que puede ser utilizada como fuente de potasio en cultivo hidropónico. La fibra de coco tiene bajo contenido de nutrimentos asimilables, particularmente nitrógeno, calcio y magnesio (Burés, 1997; Abad *et al.*, 2005).

Posadas (1999) con base en la recopilación de trabajos de caracterización fisicoquímica de la fibra de coco, indica que ésta presenta una densidad media de 0.07 g cm^3 , con un intervalo de 0.05 a 0.08 g cm^3 ; una capacidad de retención de agua promedio de 54 % con un intervalo que va de 45 a 68 %; una capacidad de aireación media de 46%, con un intervalo que va de 37 a 61 %; un porcentaje de agua fácilmente disponible de 20 % con un

intervalo que va de 15 a 28 %; un porcentaje de agua difícilmente disponible de 25 %, con un intervalo que va de 18 a 34 %; y con un porcentaje de agua de reserva de 4.1 % con un intervalo que va de 3 a 5.7 %, y con un índice de grosor promedio de 32, con un intervalo que va de 22 a 39. El pH es muy apropiado para el cultivo (alrededor de 5.7), pero la salinidad puede ser elevada en algunos casos (Abad *et al.*, 2004).

3.4. Antecedentes de Sustratos Utilizados en el Cultivo de Fresa

El uso de sustratos en macetas o canaletas facilita el elevar el cultivo del nivel del suelo con grandes ventajas al productor. Los sustratos a utilizar pueden ser: turba, lana de roca, perlita, fibra de coco etc. El más común para el cultivo de fresas en invernadero es la turba con adecuada capacidad buffer, con 10 % de material inerte (perlita) para favorecer la aireación. Así mismo, la fibra de coco es el segundo sustrato mas comúnmente utilizado (León y Martínez, 2004).

López *et al.* (2002), realizaron un experimento para mejorar el desarrollo del sistema radical con diferentes sustratos en camas de siembra para plantas de fresa cv. Camarosa. Utilizó dos sustratos (turba y fibra con polvo de coco) en dos experimentos en las temporadas 1997-98 y 1998-99. En ambos años el desarrollo de la raíz de las plantas cultivadas en turba fue mayor que el de las cultivadas en la fibra con polvo de coco.

Ercisli *et al.* (2005), realizaron un estudio en invernadero donde evaluaron el desarrollo de plantas de fresa cvs. Camarosa y Fern, utilizando perlita,

suelos forestales, finpeat, turba, perlita + finpeat (1:1) y la turba + perlita (1:1) como sustratos. Los efectos de los diferentes medios de cultivo sobre el desarrollo de las partes de la planta fueron estadísticamente significativos. En los dos cultivares, el mayor número de raíces primarias por planta, longitud de las raíces más desarrolladas y el mayor número de estolones se obtuvieron a partir de perlita, finpeat + turba y turba. En general, la turba, finpeat o finpeat + perlita dieron los mejores resultados en ambos cultivares. El mejor sustrato en términos de mayor humedad retenida (<0.33 atm) fue finpeat (57.1%), seguido por turba + perlita (57 %) y perlita (53.7 %). La cantidad mas alta en tamaño de distribución de poros (>100 mm), capacidad de aireación y drenaje la tuvo finpeat (50.9 %), seguida de turba (44.6 %).

En condiciones de invernadero y con ayuda de subirrigación se consideró el enraizamiento de los estolones y se tuvo que éstos tenían muy buen sistema radical en sólo diez días utilizando la turba como sustrato, siendo necesario solamente 100 m^2 de bancadas de multiplicación para 25,000 estolones (Duggen, 1960; citado por Penningsfeld y Kurzmann, 1983).

López *et al.* (2005) evaluaron el efecto de cuatro mezclas de fibra de coco y tezontle y el sustrato comercial vermiculita, sobre el crecimiento de dos cultivares de fresa (Chandler y Oso Grande), en un experimento en invernadero bajo condiciones hidropónicas. Las diferentes mezclas influyeron en el peso fresco y seco de raíz, corona y pecíolo y hojas, así como en altura de la planta y área foliar. Se observó un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas de fresa al incrementar las proporciones

de fibra de coco en las mezclas elaboradas. La mezcla con 75 % tezontle y 25 % fibra de coco (v/v), produjo las mejores respuestas en las variables evaluadas que las demás mezclas y que la vermiculita.

Doi *et al.* (1988), llevaron a cabo en un sistema de liberación lenta de fertilizantes en plantas de fresa sembradas en cubos de lana de roca. El agua fue suministrada mediante tubos de riego por unos minutos al día. Se observó que utilizando éste sistema las enfermedades transmitidas por el suelo se previnieron y la eficiencia de mano de obra se incrementó.

Estudios realizados en la Facultad de Agricultura de la Universidad Ain Shams durante las temporadas (2001/02 y 2002/03) en plantas de fresa cv. Camarosa, demostraron que reutilizando piedra pómez y perlita como sustrato se aumenta la C.E. Este aumento es más evidente con la piedra pómez que con perlita y es el resultado de la acumulación de cloruro de sodio. El rendimiento obtenido fue similar para ambos sustratos, pero la producción disminuyó en proporción del 50 % en el caso de la reutilización de piedra pómez y el 30 % con la reutilización de sustrato de perlita frente a los sustratos nuevos (Abd-Elmoniem y El-Beairy, 2004).

Costaz y Leal (2008) evaluaron cuatro variedades de fresa (Campinas, Seascape, Sweet Charlie y Tudla) en cuatro sistemas hidropónicos (100 mm y 150 mm de canal y 150 mm de canaletas de producción con una barra de fibra de coco y un tubo vertical que tenía cascarilla de arroz carbonizado) en tres invernaderos con diferentes técnicas: i) el invernadero sin aire de

refrigeración por evaporación, ni inyección de CO₂ aérea, ii) invernadero con CO₂ aéreo inyección sin aire y refrigeración por evaporación y iii) invernadero con la inyección de CO₂ aérea y aire de refrigeración por evaporación. Se analizó la productividad en gramos por planta y el número de frutos por planta. El cv. Campinas fue mejor que los demás. Se observó que el mejor sistema hidropónico fue la canaleta de 150 mm con la barra que contenía fibra de coco.

De Olvera *et al.* (2007), realizaron una investigación que tuvo por objeto cuantificar el potencial de propagación de diez cultivares de fresa. Los cultivares estudiados fueron Aromas, Burkley, Camarosa, Campinas, Dover, Milsei-Tudla, Oso Grande, Santa Clara, Sweet Charlie y Vila Nova. En condiciones de invernadero, las plantas madre fueron cultivadas individualmente en macetas de 5 L suspendidas a 1.2 m del suelo. El sustrato utilizado fue una mezcla de suelo y estiércol de bovino. El mayor número medio de estolones por planta madre se tuvieron en el cultivar de Dover (8.4).

3.5. Caracterización de Sustratos

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Dado que el volumen de una maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento óptimo (Cabrera, 1999). Las propiedades físicas suelen tener mayor importancia para un sustrato, ya que una vez seleccionada una mezcla como

medio de cultivo, apenas puede modificarse su estructura física, a diferencia de su composición química, que puede ser alterada durante el desarrollo de la planta, mediante el riego y el abonado (Ansorena, 1994).

3.5.1. Características físicas de los sustratos

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial matricial (Cadahía, 2005). Los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación (Ansorena, 1994).

La estructura interna de las partículas del material determina la porosidad interna y la densidad real, mientras que la granulometría y el tipo de empaquetamiento determinan la distribución de tamaños de poros interparticulares. La densidad aparente está en función de la distribución espacial y de la estructura interna del material. La porosidad es la suma de los poros internos y externos. De ella dependen las propiedades hídricas del sustrato como la retención de agua y la permeabilidad (Burés, 1997).

3.5.1.1. Granulometría

Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos varían en función de la distribución del tamaño de las partículas, siendo por tanto de importancia fundamental la caracterización granulométrica de los materiales utilizados como medios de cultivo. El tamaño de las partículas afecta el

crecimiento de la planta a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determinan el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (Abad *et al.*, 2004).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 10 mm retienen cantidades muy reducidas de agua y presentan muy buena aireación. Por el contrario, los materiales finos, con partículas inferiores a 0.2 mm retienen grandes cantidades de agua, la cual es difícilmente disponible para la planta y por lo regular están mal aireados. En cuanto a este parámetro, es recomendable que el sustrato tenga una mezcla de partículas que van de 0.2 a 2.5 mm de diámetro, ya que en este intervalo se retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, una adecuada aireación (Raviv *et al.*, 1986; citado por Castellanos y Vargas, 2004).

La granulometría de los materiales empleados como sustratos suele ser muy variable, dependiendo de múltiples factores: origen y naturaleza, sistema de recolección, condiciones de trituración y tamizado, etc. (Ansorena, 1994). La mayoría de las partículas para componentes orgánicos, así como inorgánicos, deseables para la elaboración de sustratos deberían encontrarse entre 0.5 y 4 mm, y con menos del 20 % presente en partículas más finas que 0.5 mm (Cabrera, 1999).

En síntesis un sustrato ideal debe tener menos de 20 % de partículas que van de entre 10 y 2 mm, mayor de 60 % de partículas entre 2 y 0.5 mm y menos de 20 % de partículas menores a 0.5 mm de diámetro.

3.5.1.2. Espacio poroso

La porosidad es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato, normalmente se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del sustrato. El volumen aparente es el volumen que ocupa un sustrato incluyendo la materia sólida y los poros internos o externos, tanto los abiertos como los cerrados (Burés, 1997).

El sustrato deberá tener una porosidad total de por lo menos 70 % con base en volumen. Más importante aún es conocer cómo la porosidad total está repartida entre aquel espacio ocupado por agua y aire. La porosidad de aire o espacio ocupado por aire en el sustrato, es probablemente la propiedad física más importante de los sustratos empleados en la horticultura (Cabrera, 1999).

El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) poros “capilares”, de pequeño tamaño ($<30\ \mu m$), que son los que retienen el agua, y 2) poros no capilares o “macroporos”, de mayor tamaño ($> 30\ \mu m$), que son los que se vacían después de que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación. Sin embargo, los poros no drenan completamente, una fina película de agua es retenida alrededor de las partículas del sustrato. Esta película de agua disminuye en espesor a medida que el medio se seca (Urrestarazu, 2004).

3.5.1.3. Densidad aparente y densidad real

La densidad real (D_r) es la relación entre la masa del material sólido seco (a 105 °C) y el volumen real ocupado por las partículas que lo conforman, excluyendo el espacio poroso entre las mismas (Castellanos y Vargas, 2004). La densidad aparente es la masa seca del material sólido por unidad de volumen o aparente del sustrato húmedo; es decir, incluyendo el espacio poroso entre las partículas (Abad *et al.*, 2004).

La densidad real (D_r) se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos. Su valor es propio del material y, a diferencia de la densidad aparente, no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula (Ansorena, 1994).

Cabrera (1995) sugiere tener cuidado con la densidad aparente, ya que puede resultar en aumentos significativos en el peso de la maceta y dificultar labores de espaciado y cargado, además de incrementar los costos del transporte. Por otro lado, macetas con sustrato ligero son desfavorables en viveros expuestos a fuertes vientos.

3.5.1.4. Capacidad de aireación

Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo ocupado por aire, después de que éste ha sido saturado con agua y dejado drenar, generalmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación, oscila entre 20 y 30 % en base a volumen. Éste parámetro es de

gran importancia, pues en un medio tan dinámico como es el sustrato y con un cultivo trabajando a la máxima capacidad, las raíces requieren de un alto suministro de oxígeno para mantener su actividad metabólica y de crecimiento. Condiciones de falta de agua provocan un pobre desempeño del cultivo y condiciones de exceso de agua en forma intermitente, suelen provocar la muerte de algunas raíces (Raviv *et al.*, 1986, citado por Castellanos y Vargas, 2004).

La capacidad de aireación de un sustrato es modificable con el manejo del riego. Riegos de corta duración y frecuentes van a mantener el sustrato a su máxima capacidad de retención de agua, por lo que la capacidad de aireación no se ve incrementada, pero riegos de mayor duración y mas espaciados van a inducir que el espacio poroso sea ocupado por aire, incrementando así la capacidad de aireación del sustrato (García, 1999).

3.5.1.5. Retención de humedad

Cabrera (1999) menciona con respecto a la capacidad de retención de agua por el sustrato, que un mínimo de 55 % es deseable para una maceta o recipiente de 10 a 15 cm. Así mismo, se desea que el volumen de agua total disponible para la planta deba ser por lo menos 30 % del volumen total del sustrato.

Para un buen desarrollo de un cultivo, es necesario que la distribución de tamaños de poro sea la adecuada para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire. Pero no es suficiente que la

cantidad total de agua contenida en un medio de cultivo sea la necesaria para la planta, ya que puede estar retenida con una fuerza muy elevada, superior a la de succión que es capaz de ejercer la planta. Interesa, por tanto, más que la cantidad total de agua retenida por un sustrato, la capacidad de retención de Agua Disponible (AD). Esta se define como la cantidad de agua retenida por el sustrato entre su Capacidad de Contenedor y el punto de marchites permanente, en que la planta es incapaz de extraer más agua del medio.

El valor de AD dependerá de la cantidad total de agua retenida por el sustrato (y por tanto, de la porosidad total) y de la forma en que dicha agua se halla distribuida entre los poros. Si éstos son grandes, se perderá por gravedad gran parte del agua; si son pequeños puede quedar fuertemente retenida, sin que la planta sea capaz de absorberla (Ansorena, 1994).

3.5.2. Características Químicas de los Sustratos

Las propiedades químicas caracterizan las transferencias 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).

3.5.2.1. Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de los cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así

retenidos frente al efecto lixiviante del agua y están disponibles para la planta (Abad *et al.*, 2005).

Los materiales orgánicos poseen una elevada capacidad de intercambio catiónico y una alta capacidad amortiguadora frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y en el pH. Una capacidad de intercambio catiónico elevada supone un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con baja capacidad de intercambio, con la mayoría de los sustratos minerales, retienen cantidades reducidas de nutrientes y requieren una aplicación frecuente y regular de los fertilizantes. Por otra parte, se pueden prevenir los cambios rápidos en la acidez o la alcalinidad de los sustratos, usando materiales orgánicos en las mezclas de cultivo (Puustjarvi, 1994).

La materia orgánica, especialmente las sustancias húmicas, contienen grupos funcionales cargados negativamente (carboxílico, fenólico, enólico, etc.), que son los responsables de la capacidad de los materiales orgánicos para retener los cationes en forma no lixiviable. Durante el proceso de intercambio catiónico, los iones orgánicos cargados negativamente son capaces de absorber cationes (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , etc.), en proporciones variables, en función a la afinidad del catión por los centros de absorción y de su concentración en la disolución. La capacidad de los sustratos orgánicos para absorber cationes metálicos depende del pH: cuanto más elevado es el pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico (Abad *et al.*, 2005).

3.5.2.2. Disponibilidad de nutrimentos

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen química ni biológicamente y, desde el punto de vista práctico se pueden considerar desprovistos de nutrimentos. Por el contrario, los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido de nutrimentos asimilables. Así, algunos (turba *Sphangnum* rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrimentos asimilables, mientras que otros (compostas por ejemplo) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen de la composta y del proceso de compostaje (Abad *et al.*, 2005).

Frecuentemente se alcanza un crecimiento óptimo de las plantas sobre sustratos orgánicos, cuando una aplicación moderada de abonos de liberación lenta o progresiva es complementada con una fertilización a través del riego (fertirrigación) (Cadahía, 1997).

3.5.2.3. Salinidad

Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar éste colocado en el contenedor, son: 1) la presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se degradan para producir nitratos o bien, cuando liberan sales mediante difusión, en una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas; 2) cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución fertilizante es superior a las cantidades absorbidas por la planta o las pérdidas por lixiviación, y 3) cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de

intercambio catiónico y al mismo tiempo se descompone en el transcurso del cultivo, liberando nutrientes (Abad *et al.*, 2005).

El uso excesivo de sales fertilizantes puede restringir severamente el crecimiento de las plantas (por inducción de estrés hídrico o toxicidad específica de ciertos iones), ocasionar daños indeseables al follaje (quemaduras) e inclusive la muerte de las plantas. Una fracción lixiviada de 10 a 30 % es normalmente suficiente para mantener niveles adecuados de salinidad cuando se utiliza agua o soluciones típicas de riego ($CE = 0.5$ a 2.0) (Cabrera, 1999).

Así mismo Cabrera (1999) menciona que la eficacia con la que las sales solubles residentes en la solución del sustrato son desplazadas o lixiviadas depende de ciertas características físicas del sustrato, principalmente su granulometría. Estudios efectuados al respecto indican que la mayoría de las sales son removidas con tan sólo aplicar 1.5 veces la cantidad de agua retenida por el sustrato a capacidad de contenedor. En la práctica y asumiendo que se utilice agua de buena calidad ($CE \leq 0.5 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$), el lixiviar un volumen equivalente al volumen total de la maceta o contenedor será suficiente para corregir problemas comunes de salinidad.

3.5.2.4. pH

La reacción del suelo (ácido, neutro o alcalino) se refiere a la concentración relativa de los iones hidrógeno (H^+) e hidróxilo (OH^-) en la solución del suelo.

En un suelo ácido la concentración de iones hidrógeno es mayor que la de iones hidroxilo, mientras que en un suelo alcalino sucede lo contrario.

Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del suelo sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrimentos se suministren de forma asimilable. No obstante, el crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas (Abad *et al.*, 2005).

La asimilación de los elementos nutritivos es afectada de modo marcado por el pH. Con pH de 5.5 a 6.5, la mayoría de los nutrimentos mantienen su máximo nivel de asimilación. Por debajo de pH = 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, P, Ca, Mg, B, etc., mientras que por encima de pH = 6.5 puede disminuir la asimilación de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos (de Fe, Mn, Cu, Zn, etc.), se hacen mas solubles al bajar el pH (por debajo de 5.0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos (Abad *et al.*, 2004).

3.6. Criterios para la Elección de un Sustrato

Las funciones más importantes de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces y facilitar una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas (Abad, 1991).

El mejor sustrato de cultivo en cada caso, varía de acuerdo con numerosos factores: tipo de material vegetal (semilla, estaca, planta, etc.), especie cultivada, condiciones climáticas, tamaño y forma de contenedor, programas de riego y fertilización, aspectos económicos, experiencia local en su utilización, etc. Salvo situaciones extremas, ningún sustrato que cumpla unos requerimientos mínimos, puede considerarse inadecuado para el cultivo, ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más bien que a sus materiales constituyentes o componentes, se debe hablar de las características ideales de los sustratos a utilizar en el cultivo sin suelo (Abad, 1991).

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características (Abad, 1991):

Propiedades físicas: a) elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible; b) suficiente suministro de aire; c) distribución del tamaño de las partículas que mantengan las condiciones antes mencionadas; d) baja densidad aparente; e) elevada porosidad total; f) estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón) del sustrato. Propiedades físico-químicas y químicas: a) baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente; b) suficiente nivel de nutrientes asimilables; c) salinidad reducida; d) pH ligeramente ácido y moderada capacidad amortiguadora; e) mínima velocidad de descomposición. Otras

propiedades: a) libre de semillas de malas hierbas, nemátodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas; b) reproducibilidad y disponibilidad; c) bajo costo; d) fácil de preparar y manejar; e) fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección; f) resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales. Un elevado número de materiales pueden ser utilizados con éxito, bien en forma pura o en mezcla, en la preparación de los sustratos de cultivo para las plantas. La elección de un material particular viene determinada usualmente por: 1) la disponibilidad del mismo, 2) la finalidad de la producción (cosecha), 3) su costo, 4) sus propiedades, 5) la experiencia local en su utilización, y 6) su impacto ambiental.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

El experimento se realizó en un invernadero de vidrio del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente a 19°21' latitud norte y 98°53' longitud oeste, con una altitud de 2,250 msnm. El periodo en el que se realizó el experimento fue del 17 de agosto de 2007 al 18 de febrero de 2008.

4.2. Material Vegetal

Se utilizaron dos cultivares de fresa: 'Roxana'; es una planta vigorosa y de follaje oscuro, su fruto es de color rojo anaranjado, en forma triangular de hombros bien definidos, poco dulzor y aroma; es un cultivar de día corto. 'Japonesa'; es una planta de follaje verde claro, su fruto es pequeño y rojo, de forma redondeada, muy dulce y con mejor aroma, es un cultivar de día corto.

Ambas variedades se obtuvieron del Campo Experimental San Martín del Departamento de Fitotecnia, se seleccionaron plantas hijas libres de plagas y enfermedades y se obtuvieron sólo la corona con su raíz. Antes del establecimiento en macetas, las plantas fueron sumergidas por completo en una solución de Propamocarb clorhidrato ($1.5 \text{ ml litro}^{-1}$), para controlar los posibles ataques por hongos.

4.3. Sustratos

Los sustratos evaluados fueron: tezontle y tres mezclas cuyos componentes se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de sustratos empleados en el cultivo de fresa, cvs. Roxana y Japonesa.

Sustratos	Componentes	Proporción
Tezontle	Tezontle	1
Mezcla 1	Tezontle + fibra de coco	1:1 v/v
Mezcla 2	Tezontle + Cosmo Peat	1:1 v/v
Mezcla 3	Tezontle + Promix	1:1 v/v

El tamaño de partícula del tezontle utilizado fue de 0.1 – 10 mm y se extrajo directamente de la mina, por lo que no hubo necesidad de esterilizarlo. A la fibra de coco se le hicieron tres lavados con agua potable para eliminar excedentes de sales.

El Cosmo Peat® es un sustrato formulado principalmente para la propagación de plántulas bajo condiciones de invernadero. Sus procesos de recolección, tamizado, mezcla y empaque aseguran un producto libre de plagas, maleza y enfermedades, con homogeneidad en la distribución de sus componentes, así como una alta capacidad de retención de humedad. En su formulación se encuentran integrados turba de fibra fina (90%), vermiculita (10%), agentes humectantes y nutrimentos con el objetivo de formar plántulas con un sistema radical y vascular vigorosos, con capacidad para recuperarse rápidamente del trasplante. Su pH está entre 5.5 y 6.5, conductividad eléctrica de 0.6 a 0.8 mmhos/cm, contenido de materia

orgánica de 68 a 82 % y contenido de cenizas de 18 a 32 % (Anónimo, 2008a).

El Promix® es un sustrato a base de turba para germinación y crecimiento de plántulas en charolas. Sus componentes son: turba de *Sphagnum* canadiense (65 a 75 % / vol.), vermiculita 30 %, macronutrientes y micronutrientes, cal dolomítica y calcítica, y agentes humectantes. Contiene una cantidad equilibrada de elementos nutritivos (N= 40 a 100 mg L⁻¹, P= 5 a 15 mg L⁻¹, K= 35 a 75 mg L⁻¹, Ca= 25 a 75 mg L⁻¹, Mg= 20 a 40 mg L⁻¹, Fe= 0.7 a 2 mg L⁻¹, Zn <0.2 mg L⁻¹, Cu <0.3 mg L⁻¹, Mn < 0.6 mg L⁻¹, B <0.6 mg L⁻¹,) que favorecen el desarrollo del sistema radical de las plántulas. La duración de vida útil de los fertilizantes en el sustrato depende de la cantidad de agua aportada, de la frecuencia de las irrigaciones y de las necesidades de las plantas. Físicamente tiene una porosidad entre 15 y 20 % y humedad entre 30 y 50 % del peso fresco, pH de 5.5 a 6.5 y CE de 0.7 a 1.1 mmhos/cm (Anónimo, 2008b).

4.4. Características Físicas de los Sustratos

Se determinaron las características físicas de los sustratos; tales como densidad aparente, densidad real, porosidad total, capacidad de aireación y capacidad de retención de humedad; para ello se tomaron tres muestras (de 1.5 L c/u) del tezontle y tres muestras de cada mezcla. Para las características físicas anteriormente mencionadas, se utilizaron macetas de 10.5 cm de altura, 15 cm de diámetro y 1.5 litros de capacidad (volumen de maceta), se taparon los orificios con cinta y con una tela de manta y se

pesaron; posteriormente, se llenaron con los sustratos previamente secos en la estufa a 85 °C y peso constante. Se aseguró que el sustrato estuviera bien compacto se rasó con una regla y se procedió a pesar nuevamente.

Ya que las macetas tenían los orificios cerrados y el sustrato compacto, se les agregó agua hasta llevarlas a punto de saturación; es decir, hasta que se observó un espejo de agua en la superficie del sustrato midiendo el volumen aplicado. Se cubrieron con un plástico para evitar pérdida de agua por evaporación y se dejó reposar por 24 horas. Después del reposo se destaparon los orificios de las macetas y se dejaron drenar en un recipiente colector durante 30 minutos las macetas con tezontle y 45 minutos las macetas con mezclas. Finalmente se midió el volumen obtenido o drenado.

4.4.1. Densidad aparente (g cm^{-3})

La densidad aparente se calculó a partir de:

$$Da = P / V$$

donde:

Da: Densidad aparente (g cm^{-3})

P: Peso del sustrato seco (g)

V: Volumen aparente del sustrato (cm^3)

4.4.2. Densidad real (g cm^{-3})

Para la determinación de la densidad real con base en peso, se emplearon los datos obtenidos en densidad aparente y el porcentaje de porosidad en la siguiente formula:

$$Dr = Da / (1 - (P/100))$$

donde:

Dr: Densidad real (g cm^{-3})

Da: Densidad aparente (g cm^{-3})

P: Porosidad total o espacio poroso total (%)

4.4.3. Porosidad total o espacio poroso total (%)

Para la determinación en base a volumen, se emplearon los datos obtenidos en el apartado 4.4. El cálculo se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$PT = (V_1 / V) (100)$$

donde:

PT : Porosidad Total (%)

V: Volumen del sustrato (cm^3)

V_1 : Volumen de saturación (cm^3)

4.4.4. Capacidad de aireación (%)

La capacidad de aireación se calculó con base a volumen, aplicando la siguiente ecuación:

$$CA = V_2 / V (100)$$

donde:

CA: Capacidad de Aireación (%)

V: Volumen de sustrato (cm^3)

V_2 : Volumen drenado (cm^3)

4.4.5. Capacidad de retención de humedad (%)

Se emplearon las siguientes fórmulas en la determinación de la capacidad de retención de humedad (CRH).

$$CRH = PT - CA$$

$$CRH = V_1 - V_2 / V (100)$$

donde:

PT: Porosidad total (%)

CA: Capacidad de aireación (%)

V: Volumen del sustrato (cm³)

V₁: Volumen de saturación (cm³)

V₂: Volumen drenado (cm³)

4.4.6. Granulometría

Para el análisis granulométrico se emplearon 100 g de muestra de cada mezcla secada al aire, los cuales se hicieron pasar por tamices de 4.76, 2.0, 0.84, 0.42, 0.25, 0.14 y 0.07 mm, de una tamizadora que se hizo funcionar durante 10 minutos a máxima velocidad y de forma intermitente. Al cabo de este tiempo se pesó con precisión de 0.01 g, el contenido de cada tamiz y del colector de fondo en recipientes previamente pesados, expresando los resultados como porcentaje en peso de cada fracción.

De acuerdo con Cabrera (1999), para obtener el índice de grosor o distribución del tamaño de partículas de los sustratos, se consideró el porcentaje acumulado en peso o volumen, de partículas con diámetro superior a 2 mm, entre 2 y 0.5 mm e inferiores a 0.5 mm. Debido a que no se

contaba con el diámetro de tamiz requerido para el cálculo del índice entre 2 y 0.5 mm, se consideró el porcentaje acumulado en peso de partículas con diámetro superior a 0.42 mm.

4.5. Solución Nutritiva

Previo a preparar la solución nutritiva se hizo un análisis químico del agua de la llave del invernadero para saber cuales elementos proporcionaría y en que cantidad. Los resultados se indican en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis químico del agua de la llave del invernadero (Chapingo, Mex., agosto de 2007).

Elemento	Miliequivalentes
P	0.45
K	0.20
Ca	1.20
Mg	1.67
SO ₄	2.05
B	0.01
Na	1.62
CO ₃	0
HCO ₃	2.00
Cl	0.50

La solución nutritiva se basó en la usada por Jones (2004) y León y Martínez (2004); obteniendo un promedio de ambas fórmulas. La composición se presenta en el Cuadro 3.

Las plantas se regaron manualmente a saturación cada tercer día según el tratamiento (Cuadro 4).

Cuadro 3. Solución nutritiva para el cultivo de fresa en invernadero de acuerdo a Jones (2004) y León y Martínez (2004).

Elemento	Jones (2004)	León y Martínez (2004) (mg L ⁻¹)	Concentración Promedio Utilizada
Nitrógeno (N)	128	161	145
Fósforo (P)	58	45	52
Potasio (K)	211	284	248
Calcio (Ca)	104	125	115
Magnesio (Mg)	40	31	36
Sulfato (S)	54	-	54
Hierro (Fe)	5	1.5	3.25
Manganeso (Mn)	2	0.8	1.4
Zinc (Zn)	0.25	0.65	0.45
Boro (B)	0.70	0.27	0.50
Cobre (Cu)	0.07	0.05	0.06
Molibdeno (Mo)	0.05	0.05	0.05
pH	6.0	5.83	5.9
CE		1.6 ds·m ⁻¹	

4.6. Tratamientos evaluados

El diseño de tratamientos fue factorial; los factores y sus niveles de estudio fueron: dos cultivares de fresa (Roxana y Japonesa) y 5 sustratos. Los tratamientos se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos para el cultivo en invernadero de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Tratamiento	Componentes	Concentración de Solución Nutritiva (%)
TZ1	Tezontle ^z	100
TZ2	Tezontle	75
TZFC	Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v)	75
TZCP	Tezontle + Cosmo Peat (1:1 v/v)	75
TZPR	Tezontle + Promix (1:1 v/v)	75

^z Tratamiento testigo

4.7. Unidad y Diseño Experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones y la unidad experimental fue una maceta con una planta.

4.8. Variables Evaluadas

4.8.1. Fruto

Se midió la longitud y diámetro, de cada fruto que se produjo en la unidad experimental, con un vernier digital electrónico marca GENERAL No. 143, se registró su peso fresco con una balanza analítica Scout Pro SP401 y los sólidos solubles o °Brix con un refractómetro digital marca ATAGO modelo Pocket.

Se determinó la acidez titulable a partir de una cosecha, para lo cual se picaron los frutos hasta obtener una mezcla homogénea. Cada repetición consistió en tomar 10 gr de fruto picado para posteriormente licuarlos con 50

ml de agua destilada; se filtró el jugo, se determinó o evaluó el pH y el volumen obtenido. Finalmente se midieron 10 ml de la muestra licuada, se le agregaron 3 gotas de indicador fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio al 0.1N.

El porcentaje de acidez con base en el ácido que se encuentra en mayor proporción se calculó con la fórmula:

$$\% \text{ ácido} = \frac{\text{ml NaOH} \times \text{N} \times \text{Meq. ac.} \times \text{V} \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde:

N= Normalidad de NaOH

V= Volumen total (ml)

Meq. ac.= Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción.

Los miliequivalentes se obtuvieron de la siguiente fórmula:

$$\text{Meq} = \frac{\text{PM ácido orgánico}}{\text{Valencia} \times 1000}$$

En este caso la fresa contiene ácido cítrico en mayor proporción, por lo tanto se utilizó PM= 192.1 con valencia 3.

4.9. Variables Vegetativas

4.9.1. Área foliar (cm² planta⁻¹)

Se midió el área foliar total por planta con un integrador de área foliar LICOR MOD LI 3100.

4.9.2. Volumen radical ($\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$)

A las raíces se les eliminó el excedente de sustrato y se lavaron con agua de la llave, posteriormente se midió su volumen en una probeta con el método de desplazamiento de agua.

4.9.3. Peso seco (g planta^{-1})

Al final del experimento (185 ddt), se separaron hojas, estolones, raíz, flores y frutos de cada planta.

Las hojas y los estolones se lavaron con agua de la llave y dos veces con agua destilada; se les eliminó el excedente de agua y se introdujeron a bolsas de papel perforadas para secarlas durante 48 horas en una estufa Thelco modelo 6M a 70 °C con aire circulante. Una vez seco el tejido vegetal se pesó y se molió en un molino de acero inoxidable Willey modelo 4 y malla No 20.

4.10. Concentración nutrimental

Se realizó la determinación de la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mg) en hojas.

Se pesaron 0.5 g de muestra seca y se hizo una digestión húmeda, se agregaron 4 ml de una solución diácida de ácido sulfúrico y ácido perclórico (2:1, v/v) y 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30 %, se calentaron en una

parrilla marca Thermolyne a 350°C. El digestado se aforó a 50 ml con agua desionizada.

La determinación de N se hizo por el método de microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1973); los elementos restantes (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mg) se determinaron por espectrometría de emisión atómica de inducción con plasma acoplado ICP-AES VARIAN™ Liberty II.

Para la determinación de S se hizo una digestión húmeda tomando 0.5 g de muestra seca, se agregaron 5 ml de ácido nítrico, 5 ml de peróxido de hidrógeno y se dejó reposar por 24 hrs. Posteriormente se agregaron 2 ml de ácido perclórico y se colocaron en una parrilla de calentamiento. El contenido de S fue determinado por medio de la técnica de turbidimetría (Alcántar y Sandoval, 1999).

4.11. Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias Tukey con una $\alpha \leq 0.05$, mediante el programa estadístico Statistical Analysis System SAS (2004) versión 9.

5. RESULTADOS

5.1. Características Físicas de los Sustratos

5.1.1. Densidad aparente

El tezontle presentó la mayor densidad aparente ($1.19 \text{ kg litro}^{-1}$) que de acuerdo con Cabrera (1999), se encuentra dentro del intervalo considerado como sustrato ideal ($1.0 - 1.5 \text{ kg litro}^{-1}$) para la producción de plantas en maceta. Por otro lado, las mezclas de tezontle con fibra de coco, con Cosmo peat y con Promix tuvieron densidades más bajas (Cuadro 5) lo que coincide con Abad y Noguera (2000), quienes mencionan que las más bajas densidades se observan en los materiales orgánicos.

5.1.2. Densidad real

Abad (1992), refiere que el nivel óptimo de densidad real para un sustrato se encuentra entre 1.45 y $2.65 \text{ kg litro}^{-1}$. En el Cuadro 5, se observa que todos los sustratos evaluados entran al intervalo de sustrato ideal.

El tezontle fue el que presentó la densidad real mas alta ($2.38 \text{ kg litro}^{-1}$) de acuerdo con Ansorena (1994), los materiales minerales tienen su densidad real alrededor de $2.65 \text{ kg litro}^{-1}$. Este mismo autor señala que los materiales orgánicos tendrán valores alrededor de $1.45 \text{ kg litro}^{-1}$, lo cual se observó en

las mezclas de tezontle + fibra de coco y tezontle + Promix (1.76 y 1.88 kg litro⁻¹, respectivamente).

5.1.3. Porosidad total

Cabrera (1999) menciona que el sustrato ideal debe tener entre 70 a 85 % de porosidad total. En el Cuadro 5, se observa que el sustrato más cercano a este valor fue la mezcla de tezontle + fibra de coco con 63.02 % de porosidad total. El valor más bajo lo obtuvo el tezontle (49.62 %), por lo que se espera que la capacidad de retención de agua tenderá a ser menor en este sustrato que en otros, ya que esta propiedad está directamente afectada por el tamaño de poros del sustrato.

Cuadro 5. Composición y características físicas de los sustratos utilizados en el cultivo de fresa cvs. Roxana y Japonesa

Sustrato	Proporción (v/v)	Dap (Kg litro ⁻¹)	Dr (Kg litro ⁻¹)	Porosidad total	Capacidad de Aireación (%)	Retención de Humedad
TZ	1	1.19	2.38	49.62	9.17	40.47
TZFC	1:1	0.65	1.76	63.02	5.27	57.76
TZCP	1:1	0.77	2.03	62.25	7.73	54.51
TZPR	1:1	0.79	1.88	57.84	5.67	52.18

TZ: Tezontle; TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v); TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v); TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v); Dap: Densidad aparente; Dr: Densidad real.

5.1.4. Capacidad de aireación

La porosidad de aire o espacio ocupado por aire en el sustrato, es una de las propiedades físicas más importantes de los sustratos empleados en la horticultura. Un sustrato ideal debe tener entre 10 y 20 % de porosidad de aire (Cabrera, 1999); en este caso el tezontle fue el que presentó el valor

mas cercano (9.16 %); mientras que el sustrato con el valor más bajo fue la mezcla de tezontle + fibra de coco, con sólo 5.27 % de porosidad de aire.

5.1.5. Retención de humedad

Una capacidad de retención adecuada de humedad en tensiones de 10 cm de columna de agua es de 55 a 70 % (Abad, 1992 y Cabrera, 1999). En el Cuadro 5, se observa que el tezontle + fibra de coco presentó un valor de 57.76 % de retención de humedad por lo cual es ideal para utilizarse en horticultura. Cabe mencionar que la retención de humedad de las mezclas de tezontle + Cosmo peat y tezontle + Promix, está cercana a dicho intervalo, por lo que no se descarta su utilización para cultivos hortícolas. La retención de humedad más baja la tuvo el tezontle (40.47 %); esto pudo deberse a que su porosidad total es baja, a que sus poros pueden ser grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad (Urrestarazu, 2004).

5.1.6. Granulometría

En todos los sustratos evaluados no hay más del 20 % de partículas mayores a 2 mm; el tezontle + fibra de coco fue la mezcla que tuvo más peso, debido a que al realizar el tamizado quedaron partículas fibrosas y que por su acomodo horizontal, provocan que el índice granulométrico se vea afectado (Cuadro 6).

La mezcla de tezontle + Cosmo peat tuvo 63.24 % de partículas intermedias (Cuadro 6), que entran en el intervalo para considerarlo como sustrato ideal; sin embargo, el tezontle y las mezclas restantes tuvieron valores cercanos al

valor óptimo (>60 % de partículas entre 2 y 0.5 mm). El porcentaje de partículas finas menores que 0.5 mm superó el 20 % en todos los sustratos, éstas partículas ocupan los sitios vacíos que quedan entre las partículas grandes favoreciendo la capacidad de retención de agua (Castellanos y Vargas, 2004).

Cuadro 6. Porcentaje de partículas granulométricas, de los sustratos utilizados en el cultivo de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Sustrato	Proporción (v/v)	>2.0	2.0 a 0.25 (mm)	< 0.42
Tezontle	1	0.74	57.68	40.92
Tezontle + fibra de coco	1:1	2.8	59.63	36.74
Tezontle + Cosmo peat	1:1	1.38	63.24	34.58
Tezontle + Promix	1:1	1.01	58.80	39.45

5.2. Variables de Fruto

5.2.1. Longitud

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la variable longitud (Cuadro 7) mostrando mayor longitud de frutos el tratamiento de tezontle + Promix (26.33 mm) y con igualdad estadística con tezontle más solución al 100 y 75 % y con tezontle + fibra de coco; el tratamiento que presentó menor longitud fue el de tezontle + Cosmo peat (24.36 mm).

En el Cuadro 8 se muestra que los cultivares tuvieron también efecto sobre la variable longitud, siendo Roxana el cultivar que obtuvo la mayor longitud de frutos (26.8 mm).

Cuadro 7. Longitud, diámetro, peso por fruto, sólidos solubles, número de frutos por planta y rendimiento en fresa cvs. Roxana y Japonesa, cultivadas en diferentes sustratos.

Tratamiento	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso (g)	Ss (°Brix)	Núm. Frutos	Rendimiento (g planta ⁻¹)
TZ1	25.42 ab ^z	23.38 a	6.69 ab	9.28 a	16.85 a	110.54 b
TZ2	25.40 ab	23.13 a	6.42 ab	9.36 a	16.80 a	110.04 b
TZFC	25.07 ab	22.81 a	6.18 ab	9.59 a	16.00 a	98.73 b
TZCP	24.36 b	22.55 a	5.94 b	9.26 a	16.35 a	103.33 b
TZPR	26.33 a	23.77 a	7.15 a	9.38 a	20.10 a	146.39 a
CV	8.06	8.40	19.95	5.24	32.55	32.80
DMS	1.79	1.71	1.13	0.43	4.93	32.86

TZ1: Tezontle + nutrición 100%; TZ2: Tezontle + nutrición 75%; TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%. Ss: Sólidos solubles. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa.

Cuadro 8. Longitud, diámetro, peso por fruto, sólidos solubles, número de frutos por planta y rendimiento para los cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso (g)	Ss (°Brix)	Núm. Frutos	Rendimiento (g planta ⁻¹)
Roxana	26.28 a ^z	24.78 a	7.51 a	8.51 b	20.68 a	150.95 a
Japonesa	24.34 b	21.48 b	5.44 b	10.23 a	13.86 b	76.64 b
CV	8.06	8.40	19.95	5.24	32.45	32.80
DMS	0.81	0.77	0.51	0.19	2.22	14.83

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). Ss: Sólidos solubles. CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa.

5.2.2. Diámetro

En el Cuadro 7 se muestra que entre tratamientos no se presentaron diferencias estadísticas para esta variable, pero si las hubo entre cultivares (Cuadro 8), Roxana fue el cultivar con frutos de diámetro mayor a los del cultivar Japonesa (Cuadro 1A).

5.2.3. Peso por fruto

En lo que respecta al peso del fruto, el tratamiento que tuvo mejor repuesta fue el de tezontle + Promix (7.15 g) y el de menor se obtuvo con la mezcla de tezontle + Cosmo peat con sólo 5.94 g. En el Cuadro 8, se observa que el cultivar que tuvo el mejor peso de fruto fue Roxana, con un promedio de 7.51 g (Cuadro 1A).

5.2.4. Sólidos solubles

En el Cuadro 7 se observa que no existió diferencia estadística entre tratamientos pero si las hubo entre cultivares; así que el cultivar Japonesa alcanzó un valor de 10.23 °Brix.

5.2.5. Número de frutos por planta

En el Cuadro 7 se observa que no hubo variación estadística entre los tratamientos para la variable número de frutos por planta; sin embargo, la comparación entre los cultivares (Cuadro 8) demuestra que el cultivar donde se obtuvo mayor número de frutos por maceta fue Roxana con una media de 20.68 frutos, mientras que Japonesa sólo presentó 13.86 frutos.

5.2.6. Rendimiento

En el Cuadro 7 se observa que la mezcla de Tezontle + Promix fue el tratamiento donde se obtuvo mejor rendimiento (146.39 g planta⁻¹), y superó ($\alpha \leq 0.05$) al resto de los tratamientos.

El cv. Roxana, superó ($\alpha = 0.05$) en rendimiento (150.95 g) al cv. Japonesa (Cuadro 8).

5.2.7. Acidez titulable

La variable acidez titulable no presentó diferencias significativas en respuesta a los tratamientos aplicados (Cuadro 9). Con respecto a los cultivares (Cuadro 10), 'Japonesa' fue el cultivar que presentó mayor porcentaje de acidez titulable (0.13 %) con respecto al cv. Roxana (0.10 %).

Cuadro 9. Contenido de acidez titulable y pH por tratamiento de los cvs. de fresa Roxana y Japonesa.

Tratamiento	Acidez titulable (%)	pH
TZ1	0.119 a ^z	3.71 b
TZ2	0.111 a	3.68 b
TZFC	0.118 a	3.68 b
TZCP	0.117 a	3.76 a
TZPR	0.120 a	3.70 b
CV	6.22	1.03
DMS	0.009	0.04

TZ1: Tezontle + nutrición 100%; TZ2: Tezontle + nutrición 75%; TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%; ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa.

5.2.8. pH

En el Cuadro 9 se observa que la mezcla de tezontle + Cosmo peat, fue el tratamiento en donde se tuvo mayor pH en los frutos (3.76). Haciendo la comparación entre cultivares, estadísticamente se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2A). El cv. Japonesa fue el que tuvo un pH de 3.77, siendo entonces éste el cultivar con pH mas elevado; mientras que Roxana tuvo 3.64 de pH en frutos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido de acidez titulable y pH en los frutos de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	Acidez titulable (%)	pH
Roxana	0.10 b ^z	3.64 b
Japonesa	0.13 a	3.77 a
CV	6.22	1.03
DMS	0.004	0.02

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

5.3. Variables Vegetativas

5.3.1. Área foliar

Esta variable presentó diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre los tratamientos aplicados (Cuadro 11). La mezcla de tezontle + Cosmo peat fue el tratamiento con mayor área foliar, superó a los otros dos tratamientos de tezontle más un sustrato orgánico. Los tratamientos de sólo tezontle no presentaron diferencias entre ellos.

Con respecto a los cultivares, en el Cuadro 12 se observa que el cv. Japonesa es el que desarrolló mayor área foliar con respecto al cv. Roxana.

Cuadro 11. Efecto de diferentes mezclas como sustratos en el área foliar y volumen de raíz en plantas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Tratamiento	Área Foliar (cm ² planta ⁻¹)	Volumen de Raíz (cm ³ planta ⁻¹)
TZ1	903.70 c ^z	35.15 c
TZ2	946.20 c	33.15 c
TZFC	1400.00 b	45.40 b
TZCP	1733.90 a	61.10 a
TZPR	1388.90 b	48.45 b
CV	26.92	23.73
DMS	302.14	9.33

TZ1: Tezontle + nutrición 100%; TZ2: Tezontle + nutrición 75%; TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa

Cuadro 12. Área foliar y volumen de raíz en planta de fresa de los cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	Área Foliar (cm ² planta ⁻¹)	Volumen de Raíz (cm ³ planta ⁻¹)
Roxana	1148.08 b ^z	38.88 b
Japonesa	1401.01 a	50.42 a
CV	26.92	23.73
DMS	136.37	4.21

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

5.3.2. Volumen de la raíz

En lo que respecta al volumen de raíz, el tratamiento donde se tuvo mejor respuesta fue tezontle + Cosmo peat (61.10 cm^3), mientras que los tratamientos donde el sustrato base fue sólo tezontle (TZ1 y TZ2) fueron los que presentaron los valores más bajos (35.15 cm^3 y 33.15 cm^3 , respectivamente) (Cuadro 11).

En cuanto al cultivar quien desarrolló mayor volumen de raíz fue 'Japonesa' (50.42 cm^3), mientras que 'Roxana' únicamente tuvo 38.88 cm^3 .

5.3.3. Peso seco de hoja

Se presentaron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre los tratamientos aplicados (Cuadro 1A). El tezontle + Cosmo peat fue el tratamiento en el que se presentó el mayor peso seco de hoja ($14.91 \text{ g planta}^{-1}$). Los tratamientos a base de tezontle fueron los que presentaron el menor peso de hojas (Cuadro 13).

En el Cuadro 14 se muestran las comparaciones de medias con respecto a cada cultivar, el cv. Japonesa obtuvo el mayor peso seco de hojas ($11.95 \text{ g·planta}^{-1}$), lo cual coincide con los datos obtenidos en el área foliar.

5.3.4. Peso seco de inflorescencia

En el Cuadro 13 se muestra que estadísticamente no se tienen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; sin embargo, esta variable tuvo diferencias entre cultivares (Cuadro 14). El cv. Roxana fue el que

presentó mayor peso seco en inflorescencias (3.16 g planta⁻¹); esto se debe a que como se mencionó anteriormente, dicho cultivar fue el que tuvo mayor número de frutos; por lo tanto, desarrolló mayor número de inflorescencias.

Cuadro 13. Peso seco de hojas, inflorescencia, estolones y raíz en plantas de fresa cvs. Roxana y Japonesa, cultivadas en diferentes sustratos.

Tratamiento	Hoja	Inflorescencia (g planta ⁻¹)	Estolones	Raíz
TZ1	8.05 d ^z	2.46 a	5.60 b	5.50 b
TZ2	9.30 cd	2.80 a	2.50 b	5.05 b
TZFC	12.20 b	3.16 a	5.83 b	6.49 b
TZCP	14.91 a	2.79 a	40.11 a	9.95 a
TZPR	11.87 bc	2.67 a	18.36 ab	6.91 b
CV	26.20	34.42	53.96	33.60
DMS	2.6	0.84	24.81	2.01

TZ1: Tezontle + nutrición 100%; TZ2: Tezontle + nutrición 75%; TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%; TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%; ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

Cuadro 14. Peso seco de hojas, inflorescencia y raíz en planta de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	Hoja	Inflorescencia (g planta ⁻¹)	Raíz
Roxana	10.58 b ^z	3.16 a	5.27 b
Japonesa	11.95 a	2.39 b	8.29 a
CV	26.20	34.42	33.60
DMS	1.17	0.38	0.90

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$), CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa

5.3.5. Peso seco de estolones

El tratamiento que presentó mayor producción de estolones fue el de tezontle + Cosmo peat ($40.11 \text{ g planta}^{-1}$), seguido por tezontle + Promix que produjo $18.36 \text{ g planta}^{-1}$, los tratamientos restantes no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Entre los cultivares se tuvo diferencia para ésta variable, teniendo así que únicamente se produjeron estolones en el cv. Japonesa y sin producción al cv. Roxana (Cuadro 2A).

5.3.6. Peso seco de raíz

El tratamiento a base de tezontle + Cosmo peat fue el que presentó mayor peso seco de raíz ($9.95 \text{ g planta}^{-1}$), esto debido a que con este tratamiento también se obtuvo el mayor volumen de la raíz. La comparación entre cultivares (Cuadro 14) demuestra que el cv. Japonesa fue el que presentó el mayor peso seco de la raíz ($8.29 \text{ g planta}^{-1}$).

5.4. Concentración Nutrimental en Hojas de Fresa cvs. Roxana y Japonesa

5.4.1. Macronutrientes

5.4.1.1. Nitrógeno

En el Cuadro 1A se muestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados con respecto a la concentración de nitrógeno.

Jones *et al.* (1991), consideran que el intervalo óptimo de N se ubica entre 2.5 y 4.0 % y para Reuter y Robinson (1988) entre 2.5 a 3.5 %. En el experimento la nutrición en cada tratamiento no fue suficiente para abastecer satisfactoriamente de N al cultivo de fresa. Se encontraron síntomas iniciales de deficiencia de este elemento en todos los tratamientos: coloraciones rojizas en los márgenes de las hojas, posteriormente las hojas pasaron a verde – amarillentas y luego rojizas, los pecíolos quebradizos y finalmente las hojas mas viejas de hicieron amarillentas y con manchas necróticas (Figuras 1 y 2) (Bhargava y Chadha, 1988).

Sin embargo, Pritts y Handley (1988) mencionan que el intervalo óptimo de N para el cultivo de fresa es 2.0 a 2.8 %, lo que hace pensar que la concentración óptima de N va a depender del sustrato, la solución nutritiva aplicada, el cultivar, el tiempo de siembra y las variantes climatológicas presentes en cada región.

En cuanto a los cultivares, se demuestra que hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 16), en donde el cultivar Japonesa tuvo mayor concentración de N en el tejido vegetal. Al momento del muestreo foliar, Japonesa fue el cultivar que se encontraba en etapa vegetativa, por lo tanto la demanda de N fue fuerte para la emisión de estolones. El cultivar Roxana presentó menor concentración de N.

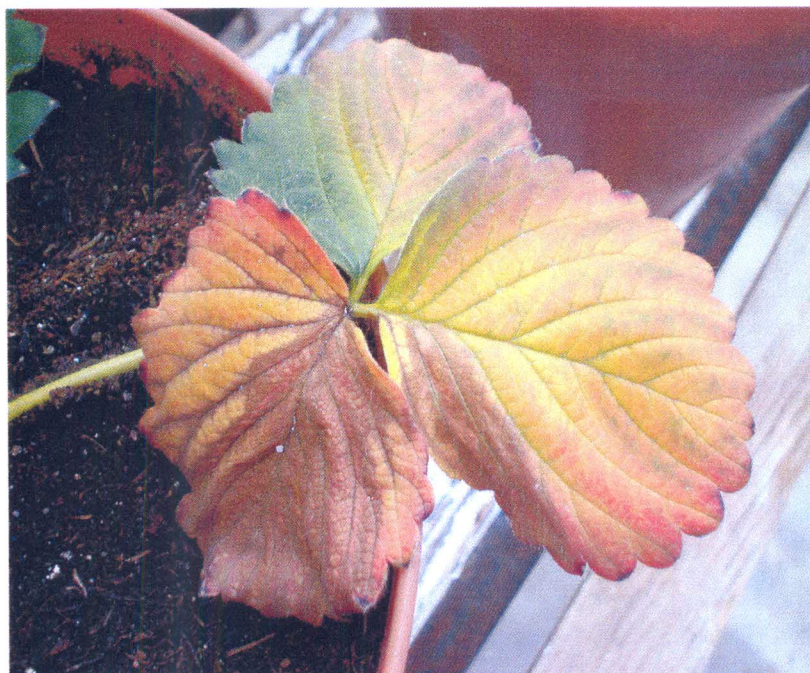


Fig 1. Coloración rojiza en hoja madura de fresa causada por deficiencia de Nitrógeno cultivadas en el sustrato tezontle + Cosmo peat

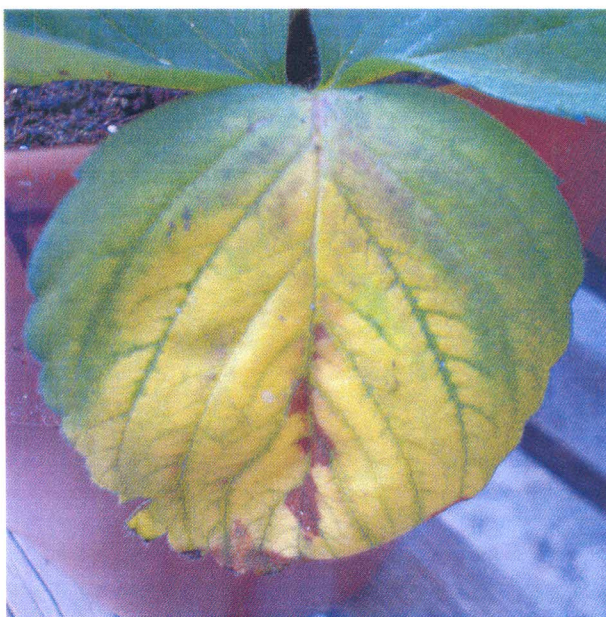


Fig. 2. Deficiencia de N en fresa cultivadas en tezontle + Cosmo peat causando amarillamiento y manchas necróticas en hojas adultas.

5.4.1.2. Fósforo

Este elemento presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados. En el Cuadro 15 se observa que la concentración más baja la presentó el tratamiento con tezontle con la solución nutritiva al 75 %, mientras que los tratamientos restantes tuvieron un comportamiento similar.

La principal función del P en los procesos fisiológicos y bioquímicos en el crecimiento activo es ser componente del ATP y formar parte de las coenzimas NAD y NADP (Kass, 1996). Los síntomas de deficiencia de este elemento son la coloración verde – azul en el follaje, seguida de un enrojecimiento en los márgenes de las hojas para posteriormente recubrirse con una coloración bronceada y púrpura. Así mismo, se observa un bajo crecimiento de las plantas y un desarrollo delgado, pequeño y verde oscuro de las hojas (Bhargava y Chadha, 1988). Se ha visto que cuando hay bajas concentraciones de P existe bajo peso fresco y baja producción de estolones (Veen y Boone, 1981).

Jones *et al.* (1991), consideran que el intervalo óptimo de P va de 0.25 a 1.0 %. Todos los tratamientos tuvieron el suficiente P para proveer la demanda nutrimental para la fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Por otro lado Reuter y Robinson (1988), consideran que el intervalo óptimo de P va de 0.3 a 0.5 % y para Pritts y Handley (1998) este intervalo se ubica

entre 0.25 y 0.4 %; pero en el experimento no se encontraron síntomas de exceso del elemento fósforo.

La concentración de fósforo entre los cultivares tuvo diferencias estadísticas significativas, se observó que el cv. Japonesa fue el que tuvo mayor concentración de este elemento (0.81 %), mientras que la de Roxana fue de 0.66 % (Cuadro 3A).

5.4.1.3. Potasio

Este elemento presentó diferencias estadísticas altamente significativas, teniendo así que en el tratamiento con tezontle + Promix se tuvo el mayor contenido de potasio en el tejido vegetal. El tratamiento con más baja concentración de K fue el de tezontle + nutrición al 75% (Cuadro 15). Con respecto a los cultivares, Japonesa fue el cultivar que tuvo mayor concentración de K (1.70 %), mientras que Roxana sólo presentó el 1.58 %.

La deficiencia de K se presenta con una coloración rojo – púrpura que se desarrolla en el margen de la hoja y gradualmente cubre la hoja dejando un área triangular en la base, éste síntoma se le conoce como “árbol de navidad” (Hancock, 1999). Posteriormente las quemaduras inician en el margen de las hojas y se extiende por toda la hoja, pero se detiene en el “árbol de navidad” el cual permanece verde, finalmente la hoja se necrosa completamente (Bhargava y Chadha, 1988).

Jones *et al.* (1991), consideran que el intervalo de suficiencia del elemento K es 1.3 a 3.0 %, para Reuter y Robinson (1988) es de 1.5 a 2.5 % y para Pritts y Handley (1998) es de 1.5 a 2.5 %. Con esto se tiene que todos los tratamientos entraron en el intervalo óptimo y además en el experimento no se observaron síntomas visuales de deficiencia de K en el tejido vegetal.

5.4.1.4. Calcio

En el Cuadro 15 se muestra que hubo diferencias estadísticas significativas para el elemento Ca. Los tratamientos a base de tezontle + nutrición al 100 % y el de tezontle + Promix fueron los que obtuvieron los niveles más altos de Ca (1.45 % y 1.44 %, respectivamente), mientras que los tratamientos restantes tuvieron un comportamiento similar. El análisis estadístico entre los cultivares no manifestó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 16).

Jones *et al.* (1991), consideran que el intervalo de suficiencia del elemento Ca es 1.0 a 2.5 %, para Reuter y Robinson (1988) es de 1.0 a 2.0 % y para Pritts y Handley (1998) es de 0.7 a 1.7%. Con esto se tiene que todos los tratamientos están dentro del intervalo de suficiencia para el Ca. Para ambos cultivares la concentración entra en el intervalo óptimo (Cuadro 16).

Mass (1984) considera que los factores como altas temperaturas, el suministro de agua al cultivo y la presencia de cielo nublado limitan el suministro de Ca a la planta. Considera que el Ca es importante en la adaptación de la planta a situaciones de estrés, ataque de insectos, infección de patógenos y daños físicos, además de formar parte de pectinas

de paredes celulares que evitan el debilitamiento de tejidos y en consecuencia se retarda el envejecimiento.

Bhargava y Chadha (1988), mencionan que la deficiencia de Ca se observa en las hojas que están completamente expandidas y que desarrollan una ligera necrosis marginal, están deformes, arrugadas y presentan una clorosis parcial intervenal. Las hojas que no se han expandido presentan los bordes quemados. Ninguno de los síntomas anteriores fue observado en el experimento.

5.4.1.5. Magnesio

La concentración más alta de Mg la tuvo el tratamiento con la mezcla de tezontle + Promix, pero estadísticamente fue igual a los tratamientos de tezontle (nutrición al 75 y 100%) y al de tezontle + fibra de coco. El tratamiento que presentó la media más baja fue tezontle + Cosmo peat (0.46% de Mg). El cultivar con mayor concentración de Mg fue Japonesa (0.53%) y Roxana sólo tuvo 0.49 % (Cuadro 16).

La deficiencia de Mg causa coloraciones verde-limón en el margen de las hojas, las cuales se doblan hacia adentro conforme la deficiencia progresa. La parte basal de la hoja a lo largo de la nervadura principal se vuelve amarillo-naranja, mientras que las áreas adyacentes a la nervadura central permanecen verdes. Áreas necróticas aparecen en el envés de las hojas (Bhargava y Chadha, 1988).

Jones *et al.* (1991), indican que el intervalo de suficiencia del elemento Mg es de 0.25 a 1.0%, y para Reuter y Robinson (1988) el intervalo óptimo de nutrimento foliar es de 0.4 a 0.6 %. Con lo anterior se tiene que todos los tratamientos están dentro del intervalo de suficiencia para el Mg. De igual manera, los cultivares Roxana y Japonesa entran al intervalo recomendable.

Por otro lado Pritts y Handley (1998) consideran que el nivel óptimo de suficiencia para el elemento Mg es de 0.3 a 0.5 %. En este caso todos los tratamientos a excepción del de tezontle + Cosmo peat, tuvieron un ligero exceso de Mg. Sin embargo, en el experimento no se observaron síntomas de toxicidad de este elemento.

5.4.1.6. Azufre

Para el azufre no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 15), ni entre cultivares (Cuadro 16).

Los síntomas de deficiencia son similares a los del nitrógeno. Márgenes de hojas viejas color pardusco a púrpura y algunas manchas rojizas y amarillentas, usualmente durante y después de la cosecha (Mass, 1984 y Hancock, 1999). Este síntoma fue encontrado en hojas de los dos cultivares y en estolones del cv. Japonesa se observaron coloraciones púrpura en el margen de sus hojas. De acuerdo con Pritts y Handley (1998), todos los tratamientos no están en el intervalo óptimo de suficiencia para el elemento S, pues consideran que éste intervalo debe encontrarse entre 0.4 y 0.6 % en el tejido vegetal. Por otro lado Reuter y Robinson (1988) consideran que el

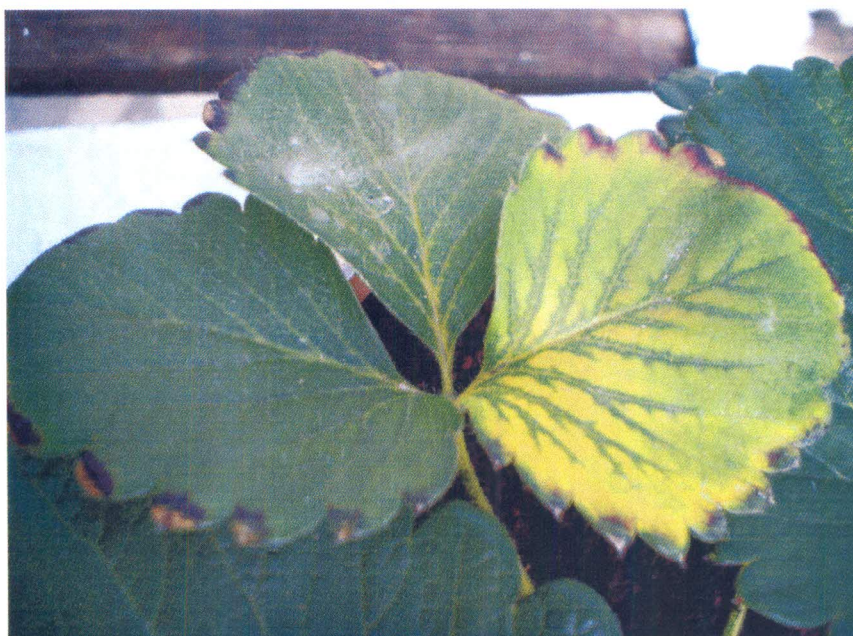


Fig. 3. Hoja de fresa adulta con coloración amarilla (síntoma de deficiencia de Azufre) cultivada en el sustrato tezontle + fibra de coco.

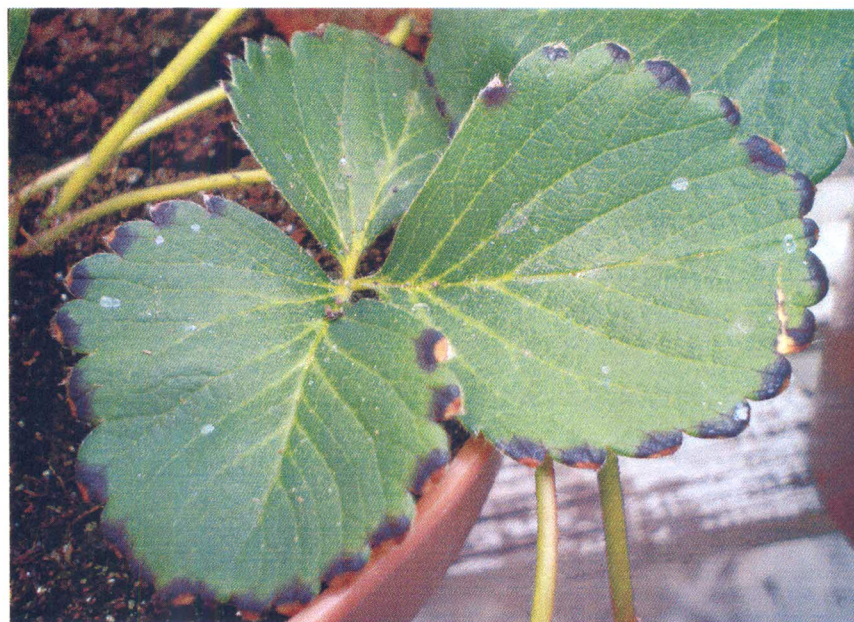


Fig. 4. Daño severo en márgenes de hojas con coloraciones púrpura causadas por deficiencia de S (sustrato tezontle + Promix).

nivel de suficiencia para el S se tiene entre 0.1 y 0.2 %, y entonces si estaría en el intervalo aceptado como suficiente. Estas contradicciones pueden deberse al cultivar evaluado y a las condiciones en que se generaron estos índices de referencia. A hora bien, en el caso del presente estudio se observaron los síntomas de deficiencia que se presentan en las Figuras 3 y 4.

Cuadro 15. Concentración de macronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa cultivados en diferentes sustratos.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(%)					
TZ1	2.16 a ^z	0.75 a	1.65 ab	1.45 a	0.52 a	0.15 a
TZ2	2.05 a	0.58 b	1.54 b	1.20 b	0.52 a	0.14 a
TZFC	2.01 a	0.80 a	1.65 ab	1.25 b	0.52 a	0.15 a
TZCP	2.20 a	0.73 a	1.66 ab	1.15 b	0.46 b	0.17 a
TZPR	2.19 a	0.80 a	1.68 a	1.44 a	0.53 a	0.15 a
C.V.	11.86	13.57	9.16	12.01	9.00	15.57
D.M.S.	0.22	0.08	0.13	0.13	0.04	0.02

TZ1: Tezontle + nutrición 100%, TZ2: Tezontle + nutrición 75%, TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%, TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%, TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa

Cuadro 16. Concentración de macronutrientes en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
	(%)					
Roxana	2.05 b ^z	0.66 b	1.58 b	1.32 a	0.49 b	0.15 a
Japonesa	2.19 a	0.81 a	1.70 a	1.27 a	0.53 a	0.15 a
C.V.	11.86	13.57	9.16	12.01	9.00	15.57
D.M.S.	0.10	0.03	0.05	0.06	0.01	0.009

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa

5.4.2. Micronutrientes

5.4.2.1. Hierro

Se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos para la concentración de Fe en tejido vegetal (Cuadro 17). Las concentraciones más altas se obtuvieron en los tratamientos con tezontle + nutrición al 100 % y tezontle + Promix (91.80 y 84.75 mg kg⁻¹ m.s., respectivamente), seguidas del tratamiento con tezontle + nutrición al 75 %. Las medias más bajas las tuvieron los tratamientos con tezontle + fibra de coco y tezontle + Cosmo peat (68.06 y 67.30 mg kg⁻¹ m.s. respectivamente).

Jones *et al.* (1991), consideran que el intervalo óptimo para el elemento Fe es de 50 a 200 mg kg⁻¹ m.s. o ppm y para Pritts y Handley (1998) el nivel de suficiencia está entre 60 y 250 mg kg⁻¹ m.s. Razonando lo anterior, se tiene que todos los tratamientos entran a los intervalos de suficiencia; así mismo, sucede para los cultivares; se observa que la mayor concentración de Fe la presentó el cultivar Japonesa (82.45 mg kg⁻¹ m.s.), mientras que en el cv. Roxana sólo se encontró 73.64 mg kg⁻¹ m.s. (Cuadro 18).

Por otro lado, Reuter y Robinson (1988) consideran que los valores de suficiencia están entre 70 y 200 mg kg⁻¹ m.s., teniendo así que los tratamientos con tezontle + fibra de coco y tezontle + Cosmo peat, no entran al intervalo de suficiencia y por lo tanto podrían presentar síntomas de deficiencia, suceso que no aconteció en el experimento.

5.4.2.2. Zinc

La concentración mineral de Zn en el follaje presentó diferencias estadísticas significativas, teniendo así que el tratamiento con tezontle + Promix fue en el que se obtuvo la mayor concentración de Zn ($43.43 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$). Los tratamientos restantes tuvieron una concentración similar entre ellos (Cuadro 17).

Jones *et al.* (1991) consideran que el intervalo óptimo para el elemento Zn es de 50 a $200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$ o ppm y para Reuter y Robinson (1998) el nivel de suficiencia va de 30 a $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$ De acuerdo con lo anterior, se tiene que todos los tratamientos entran en el intervalo de suficiencia. Por otro lado, Pritts y Handley (1998) mencionan que el nivel de suficiencia está entre 60 y $250 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$ y con esto ninguno de los tratamientos entrarían en el intervalo de suficiencia y por lo tanto presentarían síntomas de deficiencia.

Alcántar (2007) menciona que la deficiencia de Zn en las plantas ocasiona clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes. Un síntoma típico por falta de este elemento es el acortamiento de entrenudos (arrosetamiento). Los síntomas foliares de la deficiencia de Zn en la plantas incluye clorosis intervenal, un halo de margen verde y una reducción progresiva en el tamaño de las hojas jóvenes muy similar al asociado a la deficiencia de cobre, pero con áreas decoloradas. La deficiencia de Zn en las plantas tienen raíces fibrosas que tienden a oscurecerse y a tener poco alargamiento (Mass, 1984). Ninguno de estos síntomas se observaron en el experimento realizado.

5.4.2.3. Manganeso

Para el elemento Mn, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El tratamiento a base de tezontle + nutrición al 100 % fue el que tuvo la concentración más alta de Mn ($218.55 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$), el resto de los tratamientos no presentó diferencias estadísticas.

Jones *et al.*(1991), Pritts y Handley (1998), consideran que el intervalo óptimo para el elemento Mn es de 50 a $200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$ o ppm, y para Reuter y Robinson (1988) el nivel de suficiencia es de 50 a $350 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$ Considerando lo anterior, se tiene que todos los tratamientos entran en los intervalos de suficiencia; así mismo, sucede con el comportamiento entre cultivares, donde se tuvo que el cultivar con mayor concentración de Mn en su tejido vegetal fue el cv. Roxana con $111.65 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m.s.}$

La sintomatología por falta de Mn en las plantas es muy diferente en función de la especie, aunque la apariencia de las plantas es similar a la que manifiestan aquellas sin Fe y Zn. De manera general, la carencia de Mn ocasiona una clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes (Alcántar, 2007). Con respecto a lo anterior, no se tuvieron síntomas visuales de deficiencia de Mn en el experimento.

El cultivo de fresa es tolerante a bajos niveles de Mn y en caso de existir una deficiencia muy severa las plantas son muy susceptibles al ataque ocasionado por hongos, los estolones son cortos y su peso y número de

hojas se reduce (Mass, 1984); situaciones que no se presentaron en este trabajo.

Cuadro 17. Concentración de micronutrientos en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa cultivados en diferentes sustratos.

Tratamiento	Fe	Zn	Mn
	(mg Kg ⁻¹ m.s.)		
TZ1	91.80 a ^z	34.91 b	218.55 a
TZ2	78.32 ab	32.92 b	78.22 b
TZFC	68.06 b	37.15 b	68.17 b
TZCP	67.30 b	34.69 b	72.59 b
TZPR	84.75 a	43.43 a	62.07 b
C.V.	21.90	17.89	19.96
D.M.S.	15.04	5.77	17.56

TZ1: Tezontle + nutrición 100%, TZ2: Tezontle + nutrición 75%, TZFC: Tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) + nutrición 75%, TZCP: Tezontle + Cosmo peat (1:1 v/v) + nutrición 75%, TZPR: Tezontle + Promix (1:1 v/v) + nutrición 75%. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$), C.V.: Coeficiente de Variación. DMS: Diferencia mínima significativa

Cuadro 18. Concentración de micronutrientos en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

Cultivar	Fe	Zn	Mn
	(mg Kg ⁻¹ m.s.)		
Roxana	73.64 b ^z	31.90 b	111.65 a
Japonesa	82.45 a	41.34 a	88.18 b
C.V.	21.90	17.89	19.96
D.M.S.	6.79	2.60	7.92

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha \leq 0.05$)
C.V.: Coeficiente de Variación.
DMS: Diferencia mínima significativa

6. DISCUSIÓN

La mezcla que se considera como sustrato ideal para el cultivo de fresa según las características físicas que presentó es la de tezontle + fibra de coco (1:1 v/v), donde la densidad real, porosidad, retención de humedad y granulometría se clasificaron como sustrato ideal a utilizar para cultivo en maceta.

Con el propósito de seleccionar un sustrato ideal para el cultivo de fresa, llevaron a López *et al.* (2005) a evaluar el efecto de mezclas de fibra de coco y tezontle y el sustrato vermiculita. Encontraron que la mezcla con 75 % de tezontle + 25 % de fibra de coco produjo mayor crecimiento, altura y área foliar en dos cultivares de fresa (Chandler y Oso Grande). Así mismo, menciona que hay una tendencia negativa del crecimiento de las plantas de fresa conforme se incrementa la proporción de la fibra de coco, ya que en ésta la retención de humedad fue mayor y se redujo la aireación en la rizósfera y por lo tanto disminuyó el crecimiento de la planta.

La desventaja de utilizar tezontle + fibra de coco (1:1 v/v) es que su baja densidad aparente podría cuasar problemas en viveros expuestos a fuertes vientos, pues el reacomodo de macetas volcadas es una labor intensiva y costosa (Davidson *et al.*, 1994; citados por Cabrera, 1999).

Cabe mencionar que el tezontle sin mezclarse con algún sustrato orgánico, tuvo densidad real y aparente en intervalos que se consideran como sustrato ideal; así mismo, su capacidad de aireación y porcentaje de granulometría se clasifican de la misma manera, por lo que sería otra alternativa a considerar, ya que es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico y por lo tanto la nutrición en el cultivo se podría controlar mejor (Ojodeagua *et al.*, 2008).

La mezcla de tezontle + Promix, fue el sustrato que aportó mayor longitud, peso, número y rendimiento de frutos. Ercisli *et al.* (2005), encontraron de igual manera, que utilizando turba como sustrato en el crecimiento del cultivo de fresa, éste tenía los mejores resultados.

El cv. Roxana fue el cultivar que presentó mayor longitud, diámetro, peso, número y rendimiento de frutos; por lo que en el experimento realizado se considera el mejor cultivar en cuanto a la producción de frutos.

Por otro lado, el cv. Japonesa fue el cultivar que tuvo menor cantidad de frutos y en consecuencia menor rendimiento. Sin embargo, los frutos cosechados presentaron mayor pH, acidez titulable y sólidos solubles, por lo que su fruto fue de mejor sabor y aroma. Laguado *et al.* (1999) observaron que en frutos de guayaba conforme avanza la maduración, los sólidos solubles (°Brix) aumentan principalmente los azúcares, el pH de la pulpa disminuye, debido a la presencia de ácidos orgánicos libres y a mayor acidez titulable se favorece la concentración de sólidos solubles.

Para los sólidos solubles a pesar de que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, la mezcla de tezontle + fibra de coco fue el tratamiento que tuvo el valor mas alto para esta variable, debido a que este sustrato presenta sales, que de acuerdo con Cuartero *et al.* (2001), el contenido en sólidos solubles y azúcares reductores suele ser más alto en frutos procedentes de plantas regadas con agua salina que en frutos de plantas regadas con agua dulce.

La mezcla de tezontle + Cosmo peat, fue el sustrato que mayor área foliar y volumen de raíz generó, esto debido a que su granulometría entra en el intervalo de sustrato ideal para el cultivo de plantas en maceta. Por ello, la raíz tuvo mayor superficie de exploración en el sustrato y por lo tanto mayor contacto con partículas finas de turba con las que hizo intercambio catiónico. Al haber mayor contacto entre raíz y nutrientes proporcionados por el Cosmo peat, se favoreció el crecimiento foliar y por lo tanto el peso seco de hojas, estolones y raíz. Esto coincide con Duggen en 1960 (citado por Penningsfeld y Kurzaam, 1983), donde afirma que los estolones sembrados en turba tienen mejor enraizamiento y crecimiento en menor tiempo.

Al hacer la comparación entre las mezclas aplicadas en el experimento no se encontraron diferencias estadísticas significativas para los elementos N, P y S entre los tratamientos tezontle + nutrición 100 %, tezontle + fibra de coco, tezontle + Cosmo peat y tezontle + Promix; esto se debe a que los sustratos de Cosmo peat y Promix tuvieron aportaciones de N, P y S que compensaron la concentración deficiente de estos elementos presentes en la

solución nutritiva completa. Así mismo Burés (1997) menciona que la fibra de coco tiene un elevado contenido de potasio y fósforo, pero bajo contenido de nutrimentos asimilables como N, Ca y Mg.

En lo que respecta a Ca y Fe, el tezontle + nutrición 100 % y la mezcla de tezontle + Promix, fueron los tratamientos en donde se encontró la mayor concentración en el tejido vegetal de estos elementos.

Para los elementos K y Zn la mezcla de tezontle + Promix, fue donde se tuvo la mayor concentración.

El tratamiento a base de tezontle + nutrición 75 %, fue el que presentó las concentraciones mas bajas de los elementos P, K, S y Zn en hojas de fresa, ya que es un material químicamente inerte y que solamente actúa como soporte para la planta, no interviniendo en el proceso de absorción y fijación de los nutrimentos, este material presenta la propiedad fisicoquímica de no tener una capacidad de almacenamiento de nutrientes por lo tanto la forma de suministrar los nutrientes es única y exclusivamente mediante la solución de fertilizantes (Abad *et al.*; 2004).

Las mezclas de tezontle + Cosmo peat y la de tezontle + Promix, ambas con nutrición al 75 %, se consideran sustratos químicamente activos y estos se diferencian de los sustratos inertes por presentar una alta capacidad de intercambio catiónico, siendo ésta una propiedad físico-química que esta directamente relacionada con su alta capacidad de almacenamiento de

nutrientes por parte del sustrato (turbas). Sin embargo existen diferencias estadísticas significativas entre los dos tipos de mezcla, reflejando de esta manera que la capacidad de intercambio catiónico y almacenamiento de nutrimentos es diferente entre las mezclas (Abad, *et al.*; 2004). La mezcla de tezontle + Promix, fue el sustrato orgánico a base de turba que tuvo la mayor concentración de elementos (P, K, Ca, Mg, Fe y Zn) y el tratamiento de tezontle + Cosmo peat sólo fue mayor en N, S, y Mn.

Las concentraciones de Ca y S en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa fueron estadísticamente iguales. Sin embargo, para los elementos N, P, K, Mg, Fe y Zn el cv. Japonesa presentó las concentraciones más altas, debido a que dicho cultivar tuvo un mejor desarrollo de raíz (Cuadro 12) y por lo tanto mayor superficie de contacto con el sustrato para hacer intercambio catiónico.

Durante el experimento, el cultivar Japonesa fue el único que estuvo en etapa vegetativa, ya que presentó emisión de estolones y poca producción de frutos, caso contrario a lo reportado por Cervantes (2006), quien menciona que ambos cultivares (Roxana y Japonesa) sembrados en campo tuvieron producción de estolones y frutos en proporciones similares. Así mismo, menciona que la máxima extracción de N en las plantas de fresa ocurrió a los 62 ddt, durante la brotación vegetativa, emergencia y desarrollo de estolones.

El desarrollo de estolones representa una constante demanda de nutrimentos por lo que se esperaba que el cultivar Japonesa presentara menor concentración de nutrientes en su tejido vegetal, cuestión que no sucedió; ya que el cultivar antes mencionado tuvo mayor concentración de elementos comparado con el cultivar Roxana.

Cabe mencionar que éste último tuvo mayor producción de inflorescencias y desarrollo de frutos; por lo tanto la mayor extracción de nutrientes fue destinada a abastecer esta demanda; estos resultados coinciden con Molina *et al.* (1993), quienes mencionan que la más alta extracción de nutrientes se obtiene durante la mayor producción de frutos, ya que todos los nutrientes son retranslocados a los frutos.

El análisis estadístico utilizado en este experimento, revela que existen diferencias bien definidas entre los cultivares evaluados, esto coincide con Tagliavini *et al.* (2004), quienes mencionan que las principales determinantes de las cantidades nutrimentales absorbidas por las plantas de fresa son el vigor de la variedad cultivada y su rendimiento.

7. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que:

Roxana fue el cultivar que tuvo mayor rendimiento aunque el cultivar Japonesa presentó mejor calidad de fruto.

La mezcla de tezontle + Promix fue el mejor sustrato evaluado. Sin embargo, la mezcla de tezontle + fibra de coco, aunque no presentó los mejores rendimientos también se puede considerar como una segunda alternativa para el cultivo de fresa por su bajo costo y fácil adquisición.

8. LITERATURA CITADA

- Abd-Elmoniem, E. M. and U. A. El-Behairy. 2004. Effect of reusing perlite and pumice as a substrate on yield and mineral composition of strawberry plant. Egyptian Journal of Horticulture 31 (1): 13-21.
- Abad B., M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo pp. 270-280. En: La Horticultura Española en la C.E. L. R. Rallo; F. V. Nuez (eds). Ed. Horticultura, S. L. Reus, España.
- Abad B., M. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Jornadas de sustratos. Actas de Horticultura. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 11:141-151.
- Abad B., M. y P. Noguera, V. Noguera. 1996. Turbas para semilleros pp. 79-101. En: II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España.
- Abad B., M. y P. Noguera M. 2000. Los Sustratos en Cultivos sin Suelo. En: Manual de cultivo sin suelo. M. Urreztarazu (Ed.) Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones. 137 -182 p.
- Abad B., M. 2001. Sustratos para el Cultivo sin Suelo. Pp 131 – 166. En: El cultivo del tomate. F. Nuez (ed). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Abad B., M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo pp.113-158. En: Tratado de Cultivo sin Suelo. G. M. Urrestarazu (ed.). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Abad B., M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación pp. 299-354. En: Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. C. L. Cadahía (ed). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Alcantar G., G. 2007. Nutrición de Cultivos. Ed. Mundi-Prensa y Colegio de Postgraduados. D. F., México. 438 p.
- Alcantar G., G. y V. Sandoval M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal: Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. D. F., México. 156 p.
- Anónimo. 2007 a. FAO. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?pageID=567#ancor>
- Anónimo. 2007 b. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Anónimo. 2008 a. <http://filsa.com.mx/plm/DEAQ/prods/468.htm>
- Anónimo. 2008 b. <http://www.premierhort.com/website/profweb/eprofweb/eprofgrower/egrowtechdata/etechdatapgx.html>
- Ansorena M., J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Bhargava, J. N. and T. R. Chadha. 1988. Strawberry, pp 617 – 650. *In*: Mineral Nutrition of Fruit Crops. T. K. Bose; S. K. Mitra., M. K. Sadhu (eds). Ed. Calcutta: Naya Prokash. Calcutta, India.
- Branzanti C., E. 1989. La Fresa. Traducido al español por J. A. G. De la Iglesia y P. E. Hoyos. Ed. Mundi-Prensa. 385 p.
- Burés P., S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 341 p.
- Cabrera R., I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 p.

- Cabrera R., I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo* 5(1): 5-11.
- Cadahía L., C. 1997. Fertilización pp. 167-187. En: *El Cultivo del Tomate*. F. Nuez (ed). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Cadahía L., C. 2005. *Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales*. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Castellanos Z., J. y V. VARGAS T. 2004. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero pp 124-148. En: *Manual de producción hortícola en invernadero*. 2ª Ed. INTAGRI. México.
- Cervantes U., E. 2006. Extracción Nutrimental en Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 148 p.
- Chapman H., D. y E. Pratt P. 1973. *Métodos de Análisis de Suelos, Plantas y Agua*. Traducido del inglés por A. Conyin. Ed. Trillas. D. F., México. 195 p.
- Costaz, E. and P. M. Leal. 2008. Evaluation of strawberry varieties in hydroponics systems in greenhouses. *Revista Brasileira de Fruticultura* 30(2): 425-430.
- Cuartero Z., J., R. Fernández M. y J. J. González F. 2001. Estreses abióticos. 351-384 pp. En: *El Cultivo del Tomate*. Fernando, Nuez (ed). Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España.
- De Olvera, R. P., R. U. Brahm, and W. B. Scivittaro. 2007. Production of strawberry runners in greenhouse using hanging baskets. *Horticultura Brasileira* 25 (1): 107-109.
- Doi, M., Y. Oda, M. Yarsugi, and T. Asahira. 1988. A simple rockwool culture system of strawberry using slow releasing fertilizer. *Environment Control in Biology* 26 (3): 101 – 106.

- Ercisli, S., U. Sahin, A. Esitken, and O. Anapali. 2005. Effects of some growing media on the growth of strawberry cvs. Camarosa and Fern. *Acta Agrobotánica* 58 (1): 185 -191.
- García P., J. M. 1999. Propiedades y características de los sustratos perlita. En: *Cultivos sin Suelo II* pp. 29-45. En: *Curso Superior de Especialización*. M. Fernández I., M. Cuadrado (Eds). Almería, España.
- Hancock J., F. 1999. *Crop Production Science in Horticulture* 11. Strawberries. Ed. CABI Publishing. London, UK. 236 p.
- Jones, J. B. Jr, B. Wolf, and A. H. Mills. 1991. *Plant Analysis Manual: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation guide*. Ed. Micro-Macro Publishing, Inc. Georgia, EUA. 213 p.
- Jones, J. B. Jr. 2004. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. Second ed. Ed. CRC Press. Florida, USA. 440 p.
- Kass, D. C. L. 1996. *Fertilidad de Suelos*. Ed. Universidad Estatal a distancia. Costa Rica. 233 p
- Laguado N., E. Pérez, C. Alvarado y M. Marin. 1999. Características físicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Revista de la Facultad de Agronomía* 16: 382 – 397.
- León G., H. M. y J. J. Martínez T. 2004. Producción de fresa en invernadero. pp 151 - 163. *Congreso Internacional de Hidroponía*. Chihuahua, México.
- López-Galarza, S., J. V. Maroto, E. Cano, A. San Bautista, and B. Pascual. 2002. Enhancing root systems of waiting-bed strawberry plants grown on substrates. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77 (1): 58-61.

- López P., L., R. Cárdenas N., P. Lobit, O. Martínez C. y O. Escalante L. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana 28 (2): 171-174.
- Maroto B., J. V. 2002. Horticultura Herbácea. 5ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 705 p.
- Mass, J. L. 1984. Compendium of Strawberry Diseases. Second Edition. Ed. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 138 p.
- Molina E., R. Salas, y A. Castro. 1993. Curva de Crecimiento y Absorción de Nutrimientos en Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Chandler) en Alajuela. Agronomía Costarricense 17 (1): 63-67.
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina C., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana 31 (4): 367 – 374.
- Penningnfeld F. y P. Kurzmann. 1983. Cultivos Hidropónicos y en Turba. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 343 p.
- Posadas S., F. 1999. Propiedades y características de los sustratos. Turba y fibra de coco. En: Cultivo Sin Suelo II pp. 47-63. En: Curso Superior de Especialización. M. Fernández; I.M. Cuadrado (Eds). Almería, España.
- Pritts, M. P. y D. Handley. 1998. Strawberry Production Guide for the Northeast, Midwest and Eastern Canada. NRAES-88, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York. 162 p.
- Puustjarvi V. 1994. La Turba y su Manejo en Horticultura. Ed. Horticultura, S. L. Reus, España. 123 p.

- Reuter D., J. y J. B. Robinson. 1988. Plant Analysis. An Interpretation Manual. Ed. Inkata Press. Sidney, Australia. 218 p.
- Tagliavini, M., E. Baldi, R. Nestby, C. Raynal-Lacroix, P. Lieten, T. Salo, D. Pivot, P. L. Lucchi, G. Baruzzi and W. Faedi. 2004. Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. *Acta Horticulturae*. 649: 197 – 199.
- Urrestarazu G., M. 2004. Tratado de Cultivo sin Suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 914 p.
- Vargas T., P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R. y J. L. Ojodeagua A. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 375 – 381.
- Veen, B. W. and R. F. Boone. 1981. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of corn roots, pp. 287 – 291. *In: Structure and function of plants roots*. Brouwer R, Gasparikova O, Kolek J, Loughman BC (eds). Boston, London.
- Wild A. y H. P. Jones L. 1992. Nutrición mineral de las plantas cultivadas. pp 73-119. En: *Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Roossell*. Wild, A. (ed). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

ANEXO

Cuadro 1A. Fuentes de Variación (FV), Grados de Libertad (GL) y Cuadrados Medios (CM) de análisis de varianza de longitud de frutos (LF), diámetro de frutos (DF), peso de frutos (PF), sólidos solubles totales (SST), rendimiento (RD), número de frutos (NF), volumen de raíz (VR), peso seco de hojas (PSH), peso seco de inflorescencia (PSI) y peso seco de raíz, en frutos de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

FV	GL	CM	LF	CM	DF	CM	PF	CM	SST	CM	RD	CM	NF	CM	AF	CM	VR	CM	PSH	CM	PSI	CM	PSR
Variedad	1	94**	271**	106**	74.080	138056**	1128*	1599342**	3329**	46*	227**												
Tratamiento	4	10*	4	4*	0.351	7117**	54	2425990**	2540**	143**	74**												
Varie x Trat	4	4	2	1	0.043	4228*	130*	495513	146	35	1	1											
Error	90	4	3	1	0.241	1393	31	117793	112	8.722	5												
Total	99																						
CV	8	8	8	19	5	32	32	23	23	26	33												
Media	25	23	6	9	113	17	44	44	44	11	2	6											

*Significativo para $p \leq 0.05$

**Altamente significativo para $p \leq 0.01$

Cuadro 2A. Fuentes de Variación (FV), Grados de Libertad (GL) y cuadrados medios (CM) de análisis de varianza de pH y Acidez Titulable (AT) en frutos de fresa y estolones (ES) de los cvs. Roxana y Japonesa.

FV	GL	CM	CM	GL	CM	CM
		pH	AT		ES	
Variedad	1	0.224**	0.0106**	0	.	
Tratamiento	4	0.010**	0.0001	4	1702**	
Varie x Trat	4	0.002	0.0001*	0	.	
Error	40	0.001	0.000053	28	115	
Total	49			32		
CV		1.034	6.222	53	53	
Media		3.711	0.117	19	19	

*Significativo para $p \leq 0.05$

**Altamente significativo para $p \leq 0.01$

Cuadro 3A. Fuentes de Variación (FV), Grados de Libertad (GL) y cuadrados medios (CM) de análisis de varianza para la concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn y Mn en hojas de fresa cvs. Roxana y Japonesa.

FV	GL	CM N	CM P	CM K	CM Ca	CM Mg	CM S	CM Fe	CM Zn	CM Mn
Variedad	1	0.510*	0.546**	0.411*	0.056	0.046**	0.00015	1943*	2224**	13773**
Tratamiento	4	0.151*	0.153	0.061*	0.373**	0.018*	0.00150*	2247**	335**	88654**
Varie x Trat	4	0.225	0.082**	0.141**	0.064*	0.012*	0.00055	898*	247*	12158**
Error	90	0.063	0.010	0.022	0.024	0.002	0.00058	292	42	398
Total	99									
CV		11.867	13.577	9.163	12.018	9.007	15		17	19
Media		2.127	0.737	1.644	1.301	0.514	0.15		36	99

*Significativo para $p \leq 0.05$

**Altamente significativo para $p \leq 0.01$