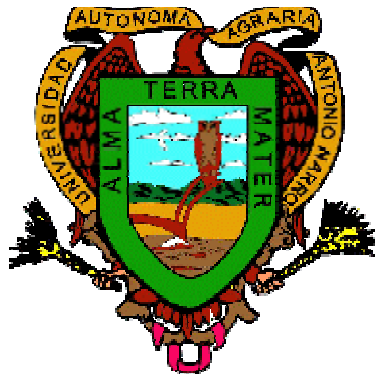


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Diagnóstico Nutricional de Tomate (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) Cultivado en Sustratos Hidropónicos Bajo Invernadero

Por:
ENRIQUE HERNANDEZ HERNANDEZ

TESIS
Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Abril de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Diagnóstico Nutricional de Tomate (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) Cultivado en Sustratos Hidropónicos Bajo Invernadero

Presentada por:
ENRIQUE HERNANDEZ HERNANDEZ

TESIS
Presentada como Requisito para Obtener el Título de
Ingeniero Agrónomo en Horticultura

M.C. Leticia Escobedo Bocardo
Presidente de Jurado

M.C. Ricardo Requejo López
Sinodal

Dr. Juan P. Munguía López
Sinodal

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2008

AGRADECIMIENTOS

Por sobre todas las cosas agradezco de una forma tan especial, al dador de vida "JESUCRISTO" pues sin el, nada de esto hubiera sido posible, gracias espíritu santo, gracias papa.

A la UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" por darme la oportunidad de formarme en esta etapa profesional de mi vida.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por darme la oportunidad de realizar mi tesis de licenciatura, en especial al Departamento de Plásticos en la Agricultura.

Al Fondo Sectorial CONACYT-SAGARPA de Investigación en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuícola, Agrobiotecnológica y Recursos Filogenéticos a través del proyecto titulado Modelo en Base a los Componentes del Balance de Energía para Medir el Consumo de Agua en los Cultivos de Tomate, Chile y Papa. Con numero de registro 133 de la Convocatoria SAGARPA-2003-002. Por el apoyo recibido.

Al M. C. Ricardo Requejo López, por darme la oportunidad de participar en su proyecto de investigación, por su confianza, conocimiento brindado para este trabajo.

Al Dr. Juan P. Munguía López, por darme la oportunidad de participar dentro de este proyecto de investigación de fondos Sectoriales CONACYT-SAGARPA.

A la M. C. Leticia Escobedo Bocado, por sus sugerencias y apoyo brindado en la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS

Guarda, hijo mió, el mandamiento de tu padre, y no dejes la enseñanza de tu madre (prov. 6:20).

Con cariño amor y respeto, a mis padres:

Sr. Gregorio Hernández Flores
Sra. Alfonsa Hernández Contreras

A mis hermanos(as): Fabián, Elvía, Gregorio (Jr.), Ismael y Oliver los quiero mucho.

Con cariño admiración y respeto a la Lic. Ana Selene García C.

A mis compañeros de carrera, generación (2003-2007) a cada uno de ustedes les agradezco lo poco o mucho que me dieron, en donde quiera que estén pongan en alto el nombre de la UAAAN.

A la congregación, Clamor en el Barrio, esa familia tan hermosa y sincera que Dios a puesto en esta ciudad de Saltillo, Coahuila.

A todos los amigos que conocí dentro y fuera de la Universidad, gracias por su amistad incondicional, Dios los guarde siempre.

ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE APENDICE	VIII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del Cultivo	4
2.1.1 Origen e Historia	4
2.1.2 Clasificación Taxonómica	4
2.2 Morfología de la planta del tomate	5
2.2.1 Planta	5
2.2.2 Raíz	5
2.2.3 Tallo	5
2.2.4 Hojas	5
2.2.5 Flor	6
2.2.6 Fruto	6
2.3 Requerimientos agronómicos	7
2.3.1 Temperatura	7
2.3.2 Iluminación	8
2.3.3 Humedad Relativa	8
2.3.4 CO ₂	8
2.4 Cultivo sin suelo	9
2.4.1 Sustratos	9
2.4.2 Tendencias a nivel mundial y su efecto en México	10
2.5 Clasificación de los sustratos	12
2.5.1 Inorgánicos	12
2.5.2 Orgánicos	12

2.6 Propiedades de los sustratos	13
2.6.1 Propiedades físicas	13
2.6.1.1 Porosidad	13
2.6.1.2 Densidad aparente	14
2.6.1.3 Estructura	14
2.6.1.4 Granulometría	15
2.6.1.5 Agua fácilmente disponible	15
2.6.1.6 Agua de reserva	15
2.6.1.7 Capacidad de aireación	15
2.6.2. Propiedades químicas	16
2.6.2.1 Capacidad de intercambio catiónico	16
2.6.2.2 Salinidad	16
2.6.2.3 pH	17
2.6.3 Bioquímicas	17
2.6.4. Criterios para la elección de un buen sustrato	18
2.6.4.1 Suministro y homogeneidad	18
2.6.4.2 Costo	18
2.6.4.3 Propiedades	18
2.6.5 Sustratos utilizados en cultivo sin suelo	18
2.6.5.1 Fibra de coco	19
2.6.5.2 Perlita	19
2.6.5.3 Peat moss (turba)	20
2.6.5.4 Vermiculita	21
2.6.5.5 Lana de roca	21
2.6.5.6 Tezontle	22
a) Propiedades físicas del tezontle	24
b) Propiedades químicas del tezontle	24
2.7 Elementos nutrimentales	25
2.7.1 Nitrógeno (N)	25
2.7.2 Fósforo (P)	25

2.7.3 Potasio (K)	26
2.7.4 Calcio (Ca)	26
2.7.5 Magnesio (Mg)	27
2.7.6 Manganeso (Mn)	27
2.7.7 Hierro (Fe)	28
2.7.8 Zinc (Zn)	28
2.7.9 Cobre (Cu)	29
2.7.10 Boro (B)	29
2.8 Diagnóstico nutricional mediante análisis foliares	30
2.8.1 Desviación del óptimo porcentual (DOP)	30
2.8.2 Balance nutriente evolutivo (BNE)	30
2.8.3 Diagnóstico de la composición nutritiva (CND)	30
2.8.4 Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS)	31
2.8.4.1 Efectos de diferentes variables sobre las normas DRIS	32

III. MATERIALES Y METODOS	34
3.1 Localización del sitio experimental	34
3.2 Características del área experimental	34
3.2.1 Temperatura	34
3.2.2 Humedad Relativa	34
3.2.3 Radiación	35
3.3 Descripción del material experimental	35
3.3.1 Material Vegetativo	35
3.3.2 Híbrido "Gabriela"	35
3.3.3 Agua de riego	36
3.3.4 Producción de plántulas	36
3.3.5 Material utilizado	37
3.3.6 Características de la unidad experimental	37
3.4 Establecimiento del experimento	38
3.4.1 Preparación de sustrato	38
3.4.2 Trasplante	39

3.4.3 Preparación de la solución nutritiva _____	40
3.5 Conducción del experimento _____	40
3.5.1 Frecuencia de riegos _____	40
3.5.2 Concentración de la solución nutritiva _____	41
3.5.3 Control de temperatura _____	41
3.6 Colecta de muestras foliares para el análisis DRIS _____	42
3.6.1 Preparación de las muestras _____	42
3.6.2 Análisis de las muestras foliares _____	42
3.6.3 Diagnóstico nutricional por medio del (DRIS) _____	43
IV RESULTADOS Y DISCUSION _____	45
4.1 Índices DRIS evaluados con normas para condiciones de invernadero considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) _____	46
4.1.1 Índice de desbalance nutricional (IDN) _____	46
4.2 Índices DRIS avaluados con normas para condiciones de invernadero considerando 10 elementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn Cu, B). _____	48
4.2.1 Índice de dasbalance nutricional (IDN) _____	48
4.2.2 Desviación del óptimo porcentual _____	50
4.3 Índices DRIS evaluados con normas establecidas para campo abierto considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) _____	52
4.3.1 Índice de dasbalance nutricional (IDN) _____	52
V. CONCLUSIONES _____	54
VI. LITERATURA CITADA _____	55
VII. APÉNDICE _____	62

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Exigencia de temperatura bajo condiciones de invernadero	7
Cuadro 2. Tendencia en el uso de sustratos en México	12
Cuadro 3. Propiedades físicas de distintos tipos de perlitas comerciales, con diferente granulometría.	20
Cuadro 4. Propiedades físicas de distintas lanas de roca comerciales	22
Cuadro 5. Caracterización física del tezontle negro usado como sustrato en invernadero.	23
Cuadro 6. Formulación de la solución nutritiva empleada para la producción de plántula considerada la ideal por Cadahia (2005).	36
Cuadro 7. Tratamientos a base de sustratos evaluados en invernadero	38
Cuadro 8. Propiedades físicas y químicas de los sustratos	39
Cuadro 9. Formulación de la solución nutritiva empleado después del trasplante y que es considerada ideal según Cadahia, (2005).	40
Cuadro 10. Datos del análisis foliar en cultivo de tomate realizado en el laboratorio CENID-RASPA Gómez Palacio, Durango.	45
Cuadro 11. Resultados obtenidos mediante el Sistema Integrado de diagnóstico (DRIS) considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) Díaz de León <i>et. al.</i> (2006)	47
Cuadro 12. Resultados obtenidos mediante el Sistema Integrado de diagnóstico (DRIS) considerando 10 elementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn Cu, B) (INIFAP-Campo Experimental Saltillo).	49
Cuadro 13. Desviación del óptimo porcentual utilizando rangos de suficiencia baja, tomados del paquete computacional para (DRIS) en 10 elementos Díaz de León <i>et. al.</i> (2006)	51
Cuadro 14. Datos obtenidos utilizando las normas DRIS considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) Para condiciones de campo abierto. Jones <i>et. al.</i> (1991)	53

ÍNDICE DE APENDICE

Cuadro 1A. Rendimientos totales por tratamiento _____	62
Cuadro 2A. Normas (DRIS) para tomate en condiciones de campo abierto Jones <i>et al.</i> , (1991) _____	62
Figura 1A. Temperaturas máximas y mínimas registradas en el invernadero. _____	63
Figura 2A. Temperaturas medias registradas en el invernadero _____	63
Figura 3A. IDN considerando 10 elementos. _____	64

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, con coordenadas geográficas: 25°27'37" de latitud norte, 100°58'6" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y altura de 1610 msnm, durante el ciclo otoño invierno del año 2007, en un invernadero tipo túnel de 8 m de ancho x15m de largo (120 m²) y 3.75 m de altura, con sistemas automatizados de pared húmeda y calentamiento a base de gas doméstico. Con el objetivo de evaluar el estado nutricional del tomate establecido en diferentes mezclas de sustratos hidropónicos.

Se establecieron diez tratamientos que correspondieron a diferentes mezclas de sustrato con cuatro repeticiones, bajo un diseño de bloques al azar. Se fabricaron 40 sacos de plástico de 100 micras de espesor, con 30cm de ancho x 40 cm de largo de un color blanco exterior y negro interior, con volumen de diez litros, donde se colocaron cada una de las siguientes mezclas de sustratos a probar. T1= 89.7 aserrín de coco + 10.3 peat moss, T2= 100 aserrín de coco, T3= 100 perlita, T4= 80.2 perlita + 19.8 aserrín de coco, T5= 94 perlita + 6 aserrín de coco, T6= 48.8 perlita + 51.2 aserrín de coco, T7= 88.2 perlita + 11.8 peat moss, T8= 96 aserrín de coco + 4 tezontle, T9= 71.9 perlita + 28.1 peat moss, T10= 51.11 aserrín de coco + 28.97 perlita + 19.92 tezontle.

El 28 de noviembre del 2007, Se colectaron muestras foliares al quinto corte de tomate con el fin de conocer el estado nutricional de las plantas establecidas en cada mezcla de sustratos. Se tomaron de 2 a 3 hojas representativas de cada tratamiento, con un total de 10 muestras foliares.

Con el paquete computacional para DRIS propuesto por Díaz de León *et. al.* (2006) se reportó al nitrógeno como el elemento que provocó mayor deficiencia nutricional. Aunque este problema no fue reflejado por la planta de manera visual.

En el diagnóstico nutricional para N, P, K, Ca, y Mg, considerando las diferentes mezclas de sustratos para cada tratamiento, se encontró que en el tratamiento dos (100 % Aserrín de coco) existe el mayor desbalance con un IDN= 108 mientras que el mejor balanceado con IDN= 51 fue el tratamiento 6 (48.8% perlita + 51.2% aserrín de coco).

Con el mismo paquete para DRIS se realizó el diagnóstico para 10 elementos y de igual forma el nitrógeno fue el elemento más deficiente para todos los tratamientos. El tratamiento dos (100% aserrín de coco) fue el que presentó mayor desbalance con un IDN= 194, en tanto que el tratamiento 6 (48.8% perlita + 51.2% aserrín de coco) con IDN= 122 presentó el mejor balance.

I. INTRODUCCION

El tomate es una de las hortalizas más importantes no solo para México sino para una gran parte del mundo debido a la cantidad de divisas que genera a los países que lo cultivan. El tomate es el segundo producto de consumo en el mundo que junto con la papa aportan el 50% de la producción mundial de hortalizas (Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. SIAP, 2005). El tomate es la hortaliza de mayor importancia económica en México. Sin embargo anualmente se tienen grandes pérdidas de cosecha debido principalmente a fenómenos meteorológicos perjudiciales.

El objetivo principal de producir bajo invernaderos es tener a las plantas de tomate en condiciones favorables para conseguir su óptimo desarrollo y productividad, evitando pérdidas por diversos fenómenos meteorológicos, incidencia de plagas y enfermedades, suelos de mala calidad y por elegir mezclas inapropiadas de sustratos. (Marquez, 1978)

En el 2004 se mencionaba que el 85% de los cultivos en invernadero utilizaban el suelo. Sin embargo en la actualidad casi el 35% de la superficie de invernaderos utilizan sustratos hidropónicos, como tezontle, turba, perlita y lana de roca para obtener mayor rendimiento y calidad de los frutos. (Asociación Mexicana de Productores de Hortalizas en Invernadero, AMPHI, 2004).

Por ello es evidente el rápido crecimiento de la producción de tomate en invernadero, ya que tan solo en 1990 existían 90 hectáreas de invernadero, en tanto que para 1999 había 600 ha. En el 2001 se registraron 950 ha., Para el 2004 (2545 ha), 2005 (2700 ha.) y para el 2006 se estimaron alrededor de 3000 hectáreas de invernadero (AMPHI, 2006).

Para este año se mencionan más de 6,600 hectáreas de Horticultura protegida en el país donde es posible producir los doce meses del año y con volumen y calidad demandada por el consumidor final. (Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A.C. AMHPAC, 2008).

A pesar de cultivarse tomate en 27 Estados de la República mexicana, solo cinco concentran en promedio el 74.2% de la producción, destacándose Sinaloa como el principal productor, seguido por Baja California, San Luís Potosí, Jalisco y Nayarit. Actualmente se cuenta con cultivares de tomate altamente rendidores, por lo que es la especie que más se cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo. (Secretaria de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación, SAGARPA, 2002).

En las últimas décadas la horticultura intensiva, fundamentalmente de los países desarrollados, ha sufrido grandes cambios, de manera que la necesidad de incrementar la producción para satisfacer la demanda de los mercados y para mantener la rentabilidad de estos sistemas productivos, ha llevado hacia un mayor control ambiental con el fin de poder optimizar el desarrollo de los cultivos. En este sentido el control de la nutrición vegetal ha sido posible gracias a los sistemas de cultivo sin suelo, con los que se ha podido eliminar el efecto amortiguador ejercido por el suelo y así someter la plantación a las condiciones deseadas de fertirrigación.

La metodología clásica para estimar deficiencias nutricionales en los cultivos utilizando análisis foliares está basada en comparaciones de la concentración foliar de nutrimentos en la muestra contra un valor crítico o rango de suficiencia. Sin embargo la concentración de nutrimentos en las hojas depende de varios factores como etapa fonológica, posición de la hoja en la planta, variedad del cultivo, etc.

Con la finalidad de eliminar las limitantes señaladas, se desarrolló el método denominado Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación

(DRIS), el cual consta de un conjunto de normas que hacen un diagnóstico más completo, ya que clasifica en orden de importancia los nutrimentos que requiere la planta, toma en cuenta su interacción, su balance nutrimental y detecta deficiencias y excesos relativos, además puede realizar diagnósticos en cualquier etapa de desarrollo y diferente posición de la hoja en la planta Beaufils (1973).

Cuando el sistema DRIS se compara contra una técnica convencional, como es la de valor crítico o rango de suficiencia, el DRIS presenta mayores ventajas ya que éste es independiente de la edad, condiciones de clima, suelo, prácticas culturales, porción y posición de la hoja muestreada (Escano, et al., 1981)

De tal manera que el valor crítico es ineficiente para diagnosticar el estado nutricional de la planta, en cualquier condición y época (Sumner, 1979).

OBJETIVO

Evaluar el estado nutricional del tomate establecido en diferentes mezclas de sustratos hidropónicos.

HIPOTESIS

En el experimento establecido a base de diferentes mezclas de sustratos, el estado nutricional foliar será diferente al menos en uno de los tratamientos a probar.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo

2.1.1 Origen e Historia

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú en donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. México esta considerado a nivel mundial como el centro mas importante de domesticación del tomate (Valadez, 1997).

La evidencia histórica favorece a México como centro de origen, ya que su uso de manera doméstica tiene bastante antigüedad y sus frutos ya eran conocidos y empleados como alimento para las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México antes de la llegada de los españoles (León, 1980)

2.1.2 Clasificación Taxonómica Villarreal, (2005)

Reino	Metaphyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>esculentum</i> Mil

2.2 Morfología de la planta del tomate

2.2.1 Planta

Perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades que de acuerdo a su hábito de crecimiento se clasifican en determinados e indeterminados.

2.2.2 Raíz

El sistema radical del tomate consta de una raíz principal y gran cantidad de ramificaciones secundarias. En los primeros 20 cm de la capa de suelo se concentra el 70% de la biomasa radical. No obstante, bajo condiciones de cultivo sin suelo se le confina en contenedores de diferente volumen, geometría y disposición. Usualmente se utiliza un volumen de 5 a 10 litros por planta. (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.2.3 Tallo

El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. (Nuez, 1995).

Es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos, por ello es importante vigilar su vigor y sanidad; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al llegar a cierto número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento) (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.2.4 Hojas

Las hojas son sencillas, pecioladas de limbo muy hendido, parecen compuestas sin serlo, de folíolos lobulados, ovales y acuminados, con bordes dentados, de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés

sobre el tallo las hojas surgen de modo alterno. Al igual que el tallo, también están recubiertas de pelos glandulares. Normalmente aparecen tres hojas por simpodio, es decir entre ramilletes. Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor intercepción de la radiación. Por ello es importante que el emparrillado para entutorado, quede simétricamente establecido y además para que no interfiera con las labores de manejo del cultivo (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.2.5 Flor

Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135° , de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso (dicasio), es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

2.2.6 Fruto

Es una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500 g, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto esta unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de absicion. La separación del fruto en la recolección

puede realizarse por una zona de abscisión o por la zona peduncular de unión al fruto (Nuez, 2001).

2.3 Requerimientos agronómicos

2.3.1 Temperatura

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados. Durante el desarrollo de la planta, la temperatura juega un papel importante, ya que el frío, durante las primeras etapas de crecimiento, puede estimular a las plantas a producir más yemas tanto vegetativas como de floración. Cuadro 1. La temperatura del invernadero viene determinada por la radiación infrarroja corta, que al incidir sobre el terreno y plantas los calienta. (Vázquez, 2004)

Cuadro 1. Exigencia de temperatura bajo condiciones de invernadero. (Sánchez, 2001)

Condiciones	Temperatura (° C)
Temperatura mínima de germinación	9 – 10
Temperatura óptima de germinación	25 – 30
Temperatura máxima de germinación	35
Temperatura óptima del sustrato	15 – 20
Temperatura óptima del día	23 – 26
Temperatura óptima de la noche	13 – 16
Temperatura mínima letal	-2 – 0
Temperatura mínima biológica	8 – 10
Temperatura floración/fecundación día	23 – 26
Temperatura floración/fecundación noche	15 – 18
Temperatura de maduración a rojo	15-22
Temperatura de maduración a amarillo	Mas de 35

2.3.2 Iluminación

La energía solar radiante es seguramente el factor ambiental que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento de las plantas cultivadas en el interior de un invernadero, la luz actúa sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas como fuente de energía para la asimilación fotosintética del CO₂, así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo, la concentración óptima de iluminación es de 10 000 y 15 000 lux. (Sánchez, 2001).

El tomate es un cultivo sensible al fotoperíodo, requiere de entre 8 y 16 horas, necesita buena iluminación, poca iluminación reduce la fotosíntesis neta e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción. (Nuez, 1999).

2.3.3 Humedad Relativa

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas, por el contrario si, es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse además de los comunes problemas del mal cuaje. Cada especie tiene una humedad ambiental para vegetar en perfectas condiciones: al pimiento y a la berenjena les gusta una HR sobre el 65 – 70 por ciento. (Alpini, 1999).

El rango óptimo para el tomate se encuentra entre el 70 y 80%, aun con temperaturas nocturnas de 13^o C. Valores superiores al 90% favorecen al desarrollo de enfermedades, especialmente Botrytis. (Nuez, 1995).

2.3.4 CO₂

El CO₂ atmosférico es la fuente de carbono para la planta, que lo fija y reduce a carbohidratos tras la expulsión del gas por los estomas, la concentración óptima del gas para la planta del tomate está entre 1000 – 3000 ppm de CO₂, pudiéndose aplicar en sistemas presurizados, cintilla y goteros. (Alpini, 1999).

2.4 Cultivo sin suelo

2.4.1 Sustratos

El término sustrato se aplica a todos los materiales sólidos distintos de los suelos naturales, minerales u orgánicos, que colocado en un contenedor, en forma pura o mezclada, permite el anclaje del sistema radical para el soporte de la planta. El sustrato puede ser de material químicamente inerte o activo, que puede o no aportar nutrientes al complejo proceso de la nutrición de las plantas.

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier sustrato de cultivo es producir una planta/cosecha de calidad en el más corto período de tiempo, con los más bajos costos de producción. En adición, el sustrato utilizado no debería provocar un impacto ambiental de importancia (Cadahía, 2005).

Una cuestión que se plantea frecuentemente es: ¿Existe el sustrato ideal para el cultivo sin suelo, en cuanto a composición o constituyentes? y la respuesta obvia es no, ya que el sustrato es un elemento más del complejo agroecosistema hortícola. El mejor sustrato de cultivo en cada caso, variará de acuerdo con numerosos factores, como son: material vegetativo, especie cultivada, condiciones climáticas, tamaño y forma del

contenedor, programas de riego y fertilización, aspectos económicos, experiencia local en su utilización, etc.

Ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más 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 y Cadahía, 2000).

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.

2.4.2 Tendencias a nivel mundial y su efecto en México

Se considera que es en el uso de sustratos donde se encuentran los mayores cambios. Países como Holanda, España y Canadá marcan la pauta en cuanto a la transición en el uso y aplicación de tecnologías. Canadá, por ejemplo, a pesar de ser un país exportador de peat moss, el 90% de los proyectos de invernadero en Ontario iniciaron con la utilización de sustratos inertes y cuatro años después han girado al empleo de perlita + turba o lana de roca.

Algo similar sucede en Québec, donde las condiciones climáticas y competencia con otros productores hacen que se utilicen sustratos de lana de roca en proyectos que buscan rendimientos de más de 50 kg/m².

Se reportó en 1999 que el 10% de la superficie bajo invernadero se realizaba con sustrato a base de lana de roca. Pero para el 2003, los proyectos de Ganfer, Santa Rita, Santa Cruz y Bionatur engrosaron el porcentaje de cultivos intensivos en lana de roca.

En España, existen nuevos proyectos con sustratos, pero el enarenado sigue dando buenos resultados en Almería.

La lana de roca es un sustrato muy empleado en Holanda. Con este sustrato alcanzan rendimientos de 40 a 60 kg/m², y se considera que a pesar del alto costo que este sustrato representa, la producción holandesa no podría subsistir sin el uso de sustratos que garantizan alta productividad. (FIRA, 2005).

En este 2005 se menciona que en el país ha crecido el uso de lana de roca a 250 hectáreas, repartidas éstas en los estados de Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Guanajuato y Querétaro. La experiencia del uso de lana de roca en México ha sido un incremento del rendimiento por unidad de superficie. Sin el uso de calefacción, en condiciones de zona templada y con sustrato inerte se alcanzan 20 kg/m² ; con lana de roca bajo las mismas condiciones se citan cifras de 40 kg/m² , con la ventaja de la reducción de costos.

En México para invernaderos de alta tecnología invierten 25,000 dólares por hectárea en sustratos, más de 20,000 dólares en fertilizantes y cerca de 45,000 en combustibles para la calefacción. (Bringas, 2005).

Sin embargo, se ha comprobado que la utilización de tezontle combinado con perlita o fibra de coco ha generado mayor rentabilidad al alcanzar rendimientos de 35 a 45 kg/m² por año. Empresas importantes han encontrado que la utilización de fibra de coco mejora la retención de humedad que les ha servido para reducir el estrés por falta de riego. (FIRA, 2005).

En el cuadro 2 puede apreciarse la tendencia en cuanto al uso de los diferentes sustratos en México, apréciense los incrementos en la superficie (en hectáreas). (Bringas, 2005).

Cuadro 2. Tendencia en el uso de sustratos en México

Sustratos	1999	2004
Lana de roca	45 has.	250 has.
Combinados (Perlita, Peat moss, Tezontle, Fibra de coco)	350 has.	950 has.
Fibra de coco (en combinación o solo)	90 has.	675 has.

2.5 Clasificación de los sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, sus propiedades, naturaleza capacidad de degradación etc. Esta clasificación intenta abarcar las diferencias más relevantes desde el punto de vista hortícola.

2.5.1 Inorgánicos

- De origen natural: Arena, grava, tezontle, tepojal, granzón, etc.
- Transformados o tratados: arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, etc.
- Residuos y subproductos industriales: escorias de horno alto, carbón, ladrillo molido, etc.

2.5.2 Orgánicos

- De origen natural: turbas, tierra de hoja, hoja de encino, etc.
- De síntesis: espuma de poliuretano, espuma de urea-formaldehído, poliestireno expandido, etc.

- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas: cascarilla de arroz, estiércoles, cortezas de árbol, aserrín, fibra de madera, fibra de coco, residuos del corcho, lodos de depuración de aguas residuales, etc.

2.6 Propiedades de los sustratos

2.6.1 Propiedades físicas

2.6.1.1 Porosidad

Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no debería ser inferior al 80-85 %, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones.

La porosidad debe ser abierta, pues al no estar en contacto con el espacio abierto, no sufre intercambio de fluidos con él y por tanto no sirve como almacén para la raíz. El menor peso del sustrato será el único efecto positivo. El espacio o volumen útil de un sustrato corresponderá a la porosidad abierta.

El diámetro de los poros condiciona la aireación y retención de agua del sustrato. Poros gruesos suponen una menor relación superficie/volumen, por lo que el equilibrio tensión superficial/fuerzas gravitacionales se restablece cuando el poro queda solo parcialmente lleno de agua, formando una película de espesor determinado. El equilibrio aire/agua se representa gráficamente mediante las curvas de humectación. Se parte de un volumen unitario saturado de agua y en el eje de ordenadas se representa en porcentaje el volumen del material sólido más el volumen de porosidad útil. Terres *et. al.* (1997)

2.6.1.2 Densidad aparente

Se define como a la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas. Esta propiedad es importante, ya que los sustratos y los contenedores se transportan durante su manejo y manipulación. El anclaje de las plantas debe ser también considerado como un factor de importancia: cuanto más alta sea la planta, mas fuerte deberá ser el sustrato. (Cadahia, 2005)

En los invernaderos donde el viento no es un factor limitante, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0.50 g/cm^3 (Abad *et al.*, (1996). Las plantas que crecen al aire libre deben ser cultivadas en sustratos mas fuertes con densidades aparentes entre 0.50 g/cm^3 y 0.75 g/cm^3 .

2.6.1.3 Estructura

Puede ser granular como la de la mayoría de los sustratos minerales o bien fibrilar La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y no se adaptan al recipiente pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando pasan de secas a mojadas. Terres *et. al.* (1997)

2.6.1.4 Granulometría

Se refiere al tamaño y peso de las partículas que constituyen el sustrato. El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de las plantas por su porosidad aparente, y el balance de sus tamaños determina el equilibrio

entre solución nutritiva y oxígeno. El sustrato se considera granulométricamente aceptable cuando sus partículas tienen una medida de gruesa a mediana, esto es de 8 a 10 mm. Aun cuando lo mas usual es que midan de 3 a 5 mm. El peso de las partículas es considerado importante por consideraciones de comodidad, eficiencia y economía, es recomendable que oscile entre 0.5 y 7 g/cm³. (Samperio, 2004).

2.6.1.5 Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de c.a.

El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y el 30%. Abad *et. al.* (1993).

2.6.1.6 Agua de reserva

Es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de c.a. el nivel optimo se situa entre el 4% y el 10% de volumen. Abad *et. al.* (1993).

2.6.1.7 Capacidad de aireación

Es la proporción de aire que contiene después de haber sido inundado y drenado. Un buen nivel de aireación se encuentra entre el 25 y el 30 por ciento del volumen total sustrato. (Samperio, 2004).

2.6.2 Propiedades químicas

La reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza

2.6.2.1 Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para la planta.

Los materiales orgánicos poseen una elevada (CIC) frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y en el pH. Una capacidad de intercambio elevada supone un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con baja CIC como la mayoría de los sustratos minerales retienen cantidades reducidas de nutrientes y requieren una aplicación frecuente y regular de 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)

2.6.2.2 Salinidad

Se refiere a la cantidad de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar colocado en el contenedor, son (Bunt, 1998).

1.- La presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se degradan para producir nitratos o bien, cuando se liberan sales mediante difusión.

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.

3.- cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico y al mismo tiempo, se descompone con el transcurso del cultivo liberando nutrientes.

2.6.2.3 pH

Define la relativa condición básica o ácida de una sustancia, en escala que cubre un rango de 0 a 14. Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma asimilable. No obstante el crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad.

La asimilabilidad de los elementos nutritivos es afectada de modo marcado por el pH. Con pH de 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de pH = 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, mientras que por encima de pH= 6.5 puede disminuir la asimilabilidad de P, Fe, Mn, B, Zn, y Cu. Los óxidos metálicos (Fe, Mn, Cu, y Zn) se hacen más solubles al bajar el pH por debajo de 5.0 pudiendo llegar a resultar fitotóxicos. (Cadaña, 2005)

2.6.3 Bioquímicas

Son reacciones que producen la biodegradación de los materiales que componen el sustrato. Se producen sobre todo en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando sus propiedades físicas. Esta biodegradación libera CO₂ y otros elementos minerales por destrucción de la materia orgánica. Terres *et. al.* (1997)

2.6.4. Criterios para la elección de un buen sustrato

2.6.4.1 Suministro y homogeneidad

Se invierte mucho trabajo, dinero y esfuerzo para poner a punto un sistema que permita preparar y manejar un sustrato particular, por otra parte, cada sustrato requiere su propio plan de riego y fertilización. Un cambio en la calidad del sustrato puede llegar a alterar el sistema completo, lo que puede ocasionar finalmente pérdidas graves en la producción. Por todo ello, el material elegido debe reunir las características de disponibilidad abundante y homogeneidad. (Cadahia, 2005)

2.6.4.2 Costo

En una horticultura competitiva, el costo de los materiales utilizados es importante, sin embargo, el costo del material no debe invalidar otros aspectos o factores, ya que el material elegido debe permitir alcanzar el objetivo propuesto con el mínimo de riesgos e inconvenientes.

2.6.4.3 Propiedades

Las analogías y las diferencias entre los distintos materiales utilizados como sustratos pueden ser comprendidas más fácilmente si las características de los materiales se consideran agrupadas en propiedades físicas, químicas y biológicas. (Nuez, 1995).

2.6.5 Sustratos utilizados en cultivo sin suelo

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son: el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas,

especies vegetales condiciones climáticas, sistemas y programas de riego, fertilización aspectos económicos, etc.

2.6.5.1 Fibra de coco

Es un producto de origen vegetal que presenta enormes posibilidades para ser utilizado como sustrato en cultivos sin suelo, se está utilizando desde hace varios años como soporte para el cultivo hidropónico de hortalizas. El polvo de coco llega a la fabrica prensado en grandes bloques, se suelta mediante una serie de lavados con aguas enriquecidas en nitrato de cal, una vez suelto el polvo se procede a su envasado en sacos o también llamadas tablas. (Urrestarazu, 2000).

Tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6.3-6.5) y una densidad aparente de 200 kg/m³. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee. (Ramírez, 2005).

2.6.5.2 Perlita

Se trata de un silicato de aluminio de origen volcánico, se comercializa bajo distintos tipos, se diferencian en la distribución del tamaño de sus partículas y en su densidad. Presentan buenas propiedades físicas, cuadro 3 lo que facilita el manejo del riego y minimiza los riegos de asfixia o déficit hídrico. Numerosos artículos muestran los buenos rendimientos de la perlita, empleada como sustrato en la producción de cultivo. No obstante existe un inconveniente, la posibilidad de degradación durante el ciclo de cultivo, perdiendo su estabilidad granulométrica, su bajo costo hace que en los últimos años se haya incrementado la superficie dedicada al cultivo en sacos de perlita. (Ramírez, 2005)

Cuadro 3. Propiedades físicas de distintos tipos de perlitas comerciales, con diferente granulometría Marfá *et al.* (1993); Martínez *et al.* (1993)

Propiedad	Perlita tipo				
	A-13 3-5 (mm)	B-12 0-5(mm)	B-10 0-3 (mm)	B-9 0-1.5 (mm)	B-6 0-1.5 (mm)
DA (g/cm ³)	0.27	0.143	0.128	0.086	0.053
EPT (% vol.)	87.0	85.9	86.7	94.0	97.2
PO (% vol.)	7.6	8.1	7.9	2.4	0.6
CA (% vol.)	58.1	29.1	41.9	18.0	24.4
AFD (% vol.)	6.9	24.6	17.6	38.3	36.6
AR (% vol.)	2.7	7.0	6.7	9.5	8.4
ATD (% vol.)	9.6	31.6	24.3	47.8	45.0
ADD (% vol.)	19.3	25.2	20.5	28.2	27.8

DA= Densidad aparente (g/cm³), EPT= Espacio poroso total (% vol.), PO= Porosidad incluida (% vol.), CA= Capacidad de aireación (% vol.), AFD= Agua fácilmente disponible (% vol.), AR= Agua de reserva (% vol.), ATD= Agua totalmente disponible (% vol.), ADD= Agua difícilmente disponible (% vol.).

2.6.5.3 Peat moss (turba)

Las turbas son materiales de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen, se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica.

Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y contenidos elevados en sales solubles. Las turbias rubias tiene un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero muy variables en cuanto a su composición ya que

depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 3.5 y 8.5. Se emplean en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros. Fernández *et. al.* (1998)

2.6.5.4 Vermiculita

Se obtiene por la exfoliación de un tipo de micas sometido a temperaturas superiores a los 800 °C. Su densidad aparente es de 90 a 140 kg/m³, presentándose en escamas de 5-10 mm. Puede retener 350 litros de agua por metro cúbico y posee buena capacidad de aireación, aunque con el tiempo tiende a compactarse. Posee una elevada C.I.C. (80-120 meq/l). Puede contener hasta un 8% de potasio asimilable y hasta un 12% de magnesio asimilable y su pH es próximo a la neutralidad (7-7,2). Fernández *et. al.* (1998)

2.6.5.5 Lana de roca

Es un material obtenido a partir de la fundición industrial a más de 1600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coke. Finalmente al producto obtenido se le da una estructura fibrosa, se prensa, endurece y se corta en la forma deseada. En su composición química entran componentes como el sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, etc. Es considerado como un sustrato inerte, con una C.I.C. casi nula y un pH ligeramente alcalino, fácil de controlar. Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire, pero presenta una degradación de su estructura, lo que condiciona que su empleo no sobrepase los 3 años.

En el Cuadro 4 se muestran las propiedades físicas de la lana de roca comercial. Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente, lo que condiciona una disposición muy

horizontal de las tablas para que el agua se distribuya uniformemente por todo el sustrato.

Cuadro 4. Propiedades físicas de distintas lanas de roca comerciales Martínez y García (1993).

Propiedad	Lana de roca (tabla o plancha)		
	Origen A ¹	Origen B ^{2,3}	Origen C ⁴
DA (g/cm ³)	0.068	0.090	0.072
EPT (% vol.)	97.4	96.7	96.4
CA (% vol.)	35.9	14.9	45.6
AFD (% vol.)	58.8	-----	48.5
AR (% vol.)	0.3	-----	0.9
ATD (% vol.)	59.1	77.8	49.4
ADD (% vol.)	2.4	4.0	1.4

DA= Densidad aparente (g/cm³), EPT= Espacio poroso total (% vol.), CA= Capacidad de aireación (% vol.), AFD= Agua fácilmente disponible (% vol.), AR= Agua de reserva (% vol.), ATD= Agua totalmente disponible (% vol.), AFD= Agua difícilmente disponible (% vol.).

2.6.5.6 Tezontle

Es uno de los sustratos mas utilizados en México en los cultivos sin suelo, aunque es uno del los menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas. La forma en que se ha venido usando es simplemente tamizado (Castellanos, 2003).

La cantidad de sustrato que se usa de tezontle es de: 7.5 a 15 L/ planta su costo de adquisición es bajo, del orden de: \$ 100 pesos el m³; de forma que si en una hectárea se requieren 187.5 m³ equivaldrá a \$ 18,750 pesos. En caso de requerir 7.5 L/ planta y dos plantas/ bolsa y por otro lado si se utilizan 15 /L planta es decir una planta/ bolsa el costo de eleva a \$ 37,500 pesos pero esto garantiza que la reserva de agua en el contenedor

sea mayor; previniendo estrés en el cultivo en caso de una falla en el programa de riego

No hay estudios normales en los que se haya evaluado esta variable en México. En el cuadro 5 se muestra la caracterización preliminar de 4 muestras de tezontle que varían en su granulometría. La muestra fina compuesta de tezontle de menos de 0.58 mm, de diámetro presenta una muy baja capacidad de aireación, aunque presenta una elevada capacidad de retención de agua y la densidad aparente es cercana a la unidad.

Por lo contrario, el tezontle de granulometría más gruesa con diámetro de partícula de 2 a 5 mm, presenta solo una retención de agua del 37% y una elevada capacidad de aireación. Al parecer la mejor muestra fue en la que se eliminaron los terrones de más de 1.27 mm, de diámetro. Este tezontle presentó una capacidad de retención de 37 % y una capacidad de aireación de 43% niveles considerados razonables para este tipo de sustratos. (Nuez, 1995).

Cuadro 5. Caracterización física del tezontle negro usado como sustrato en invernadero. (Nuez, 1995).

Tezontle	Propiedades físicas			
	Da g/cm ³	CA	RH	EPT
< 0.58	0.93	12	50	63
0.58-2.00	0.57	31	36	77
2.00- 5.06	0.49	46	22	64
> 12.7	0.52	43	37	65

a) Propiedades físicas del tezontle

- a) Elevada disponibilidad de agua
- 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
- f) Estructura estable que impida la contracción o expansión del medio.

b) Propiedades químicas del tezontle

- a) Baja o moderada capacidad de intercambio catiónico dependiendo de que la fertirrigación se aplique correctamente o de modo intermitente.
- b) Baja salinidad
- c) Mínima velocidad de descomposición.

2.7 Elementos nutrimentales

2.7.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno forma parte de importantes moléculas en las células vegetales como aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila. Cuando el contenido total de N aumenta, disminuye la acumulación de carbohidratos en las células, mientras que aumenta el contenido en ligninas en las paredes celulares. Niveles elevados de N en el interior de la planta compiten funcionalmente con el K, que es necesario para la carga de azúcares en el floema (Guzmán, 2002).

Elemento muy móvil en planta, por lo que sus deficiencias aparecen en hojas viejas. Habitualmente la planta crece menos, color verde pálido más o menos uniforme, incluidos los nervios. Las hojas jóvenes mantienen algo más el color pero son más pequeñas. Al aplicar N la recuperación es muy rápida.

2.7.2 Fósforo (P)

El P no se reduce al entrar a la planta, tras absorberse, normalmente como H_2PO_4^- , permanece en forma inorgánica o esterificado con azúcares, ATP (transferencia de energía)... también forma parte de macromoléculas como el ADN o el ARN. También está en los fosfolípidos de las biomembranas. Interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía como el adenosin trifosfato (ATP). Estas moléculas se forman como resultado de la fotosíntesis y son utilizadas en la respiración de la planta. Por lo anterior, el P es muy importante para la generación de células nuevas.

Elemento móvil en planta, los síntomas se presentan inicialmente en las hojas viejas, debido a que el P disponible se desplaza a las nuevas zonas en crecimiento. El P interviene en la formación de azúcares de 5 carbonos, cuando

hay falta de este elemento los carbonos utilizados en este ciclo no pueden formar azúcares. Estos C son desviados a la formación de antocianinas (pigmentos de color morado), y es por eso que uno de los síntomas visuales de la falta de P en las plantas es la aparición de bandas amarillentas en los bordes de las hojas maduras. Los síntomas varían según la especie: enanismo de la planta, color verde oscuro, enrollamiento de las hojas, retraso de la maduración. (López, 2007).

2.7.3 Potasio (K)

El K⁺ es un catión absorbido con gran selectividad y en gran medida de forma activa (consume energía). Es metabólicamente importante en los procesos de elongación celular, en la síntesis de proteínas, en procesos de activación enzimática y en los procesos fotosintéticos. Como transportador está implicado en la carga de carbohidratos en el floema y en el transporte de otros elementos a través de las membranas celulares. Las variaciones locales de concentración de K son fundamentales en el mantenimiento del potencial osmótico de células y tejidos, especialmente en la apertura y cierre estomático. (Guzmán, 2002).

Los síntomas visuales de deficiencia de K se presentan de distintas formas. Uno de los signos o formas más comunes, es el "quemado" o clorosis marginal de las hojas maduras. El quemado aparece primero en las hojas viejas, ya que el K es un nutriente muy móvil dentro de la planta, sin embargo, pueden presentarse otros síntomas, un moteado hacia los bordes de la hoja para en el caso de la alfalfa. (López, 2007).

2.7.4 Calcio (Ca)

Estimula el desarrollo radicular y foliar, forma componentes los cuales son parte de la pared celular reforzando así la estructura de la planta, ayuda indirectamente al rendimiento mejorando las condiciones de crecimiento radicular.

Sus síntomas de deficiencia se presenta observando un pobre sistema radicular, en casos severos el punto de crecimiento muere. Las raíces con frecuencia se tornan negras y mohosas. Puede causar puntos gelatinosos en la hoja y en los puntos de crecimiento. (Cedeño, 2006)

2.7.5 Magnesio (Mg)

Es el átomo central de la clorofila y coenzima de la carboxilasa (fijación CO₂). Es un ión de alta movilidad que actúa en el control osmótico en la célula, regulando la turgencia y el balance de cargas. Participa en la transferencia de energía, síntesis de proteínas, reparto y translocación de carbohidratos y es elemento estructural en la pared celular. (López, 2007).

Los síntomas de deficiencia de Mg primero aparecen en las hojas viejas , porque el magnesio es un nutriente móvil dentro de la planta. Las hojas presentan colores amarillos, bronceados y rojizos en bandas o rayas paralelas a la nervadura central. También es clásica la clorosis en forma de V invertida. Potash and Phosphate Institute (PPI, 1997).

2.7.6 Manganeso (Mn)

El Mn funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas. Activa varias reacciones metabólicas importantes y juega un papel directo en la fotosíntesis al ayudar a la planta a sintetizar clorofila. El Mn acelera la germinación, incrementa la disponibilidad de P y Ca.

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas jóvenes, presentando un amarillamiento entre las venas. En algunas ocasiones aparecen una serie de puntos de color café oscuros. (PPI, 1997).

2.7.7 Hierro (Fe)

Se absorbe de forma activa (requiere energía) y en la forma de Fe^{2+} . En el suelo la mayor parte está inaccesible para la planta, especialmente en suelos calizos. Es el micronutriente que se absorbe en mayor cantidad y uno de los que mayores problemas presenta. Cataliza la formación de la clorofila, en su deficiencia predominan xantofilas y carotenos, responsables del amarillamiento en la clorosis. Forma parte de numerosas enzimas. Es un elemento poco móvil en planta.

Los síntomas visuales se observan primero en hojas jóvenes en la parte superior de la plantas, Clorosis intervenal (más uniforme que Zn o Mn), tallos cortos y curvos, aspecto raquífito. Es muy raro que se produzcan toxicidades de este elemento, debido a la facilidad de la planta para inmovilizarlo y almacenarlo. (López, 2007).

2.7.8 Zinc (Zn)

Se absorbe como Zn^{2+} , probablemente en la mayoría de los casos como quelato. El Zn se relaciona con la estabilización de la molécula de clorofila, control de la concentración de auxinas. Es necesario para al menos 80 enzimas y es regulador de la expresión génica.

Sus síntomas Produce clorosis intervenal en hojas jóvenes. Disminución del crecimiento de las hojas y acortamiento de entrenudos, esto último debido a la reducción de la síntesis de auxinas. (PPI, 1997).

2.7.9 Cobre (Cu)

Es necesario para la formación de clorofila, así también cataliza varios procesos en la planta.

Sus síntomas de deficiencia, se presentan en hojas jóvenes con coloración en la hoja verde-pálido (clorosis), distinción entre venas verdes y tejidos intervenales amarillos y en general se torna de amarillo a blanco decolorado en toda la planta. (Cedeño, 2006).

2.7.10 Boro (B)

Participa en la germinación de granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y para la formación de semillas y paredes celulares. Forma también complejos de borato- azúcar que están asociados con la translocación de azúcares y es importante en la formación de proteínas. Las deficiencias comunes detiene el crecimiento de la planta, dejando de crecer primero los tejidos apicales y las hojas más jóvenes. (PPI, 1997).

2.8 Diagnóstico nutricional mediante análisis foliares

2.8.1 Desviación del óptimo porcentual (DOP)

El método de desviación del óptimo porcentual también considerado un método de diagnóstico, usa la comparación de la concentración del nutriente respecto a un nivel de referencia, pero en una expresión porcentual (Montañés et al., 1991)

En otras palabras, cuantifica la cantidad en que un nutriente se desvía de ese valor. De esta manera permite una clasificación u ordenamiento de los nutrientes en función de su efecto limitante.

$$DOP = (X) 100 / \text{Nivel de Referencia}$$

X= Valor de Laboratorio

2.8.2 Balance nutriente evolutivo (BNE)

El BNE no presenta normas concretas sino que propone el cálculo de rangos de normalidad y deficiencia a lo largo del ciclo del cultivo. Igualmente estudia relaciones de elementos concretas, fisiológicamente relacionadas con la nutrición de un determinado elemento.

Esta metodología ha sido aplicada con éxito pero requiere de mucho trabajo experimental, por lo que se hace poco práctico para su uso en cultivos cuyas variedades cambian en pocos años, según los intereses del mercado. (Carpena Artés y Carpena Ruiz, 1982),

2.8.3 Diagnóstico de la composición nutritiva (CND)

El CND es una técnica que se está empezando a desarrollar en Canadá por Parent. Con este también se calculan índices individuales para cada

nutriente pero usando su relación respecto de la media geométrica, de todos los nutrientes y componentes del material vegetal. (Parent *et. al.* 1995).

2.8.4 Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS)

Beaufils (1973), desarrolló el método denominado Diagnóstico Fisiológico, ahora conocido como Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).

Este sistema usa índices para cada nutriente obtenidos de la media aritmética de unas funciones calculadas considerando las relaciones de todas las parejas de elementos en las que interviene el elemento considerado (Walworth y Summer, 1987).

Estas relaciones están elegidas de tal manera que su variación con la edad de la hoja sea mínima, por lo que aunque normalmente son el coeficiente entre los elementos, puede ser también el producto. En el cálculo de las funciones interviene el coeficiente de variación de la norma de la relación entre los elementos. Si este coeficiente de variación es bajo indica que los elementos están bien relacionados fisiológicamente y la función tendrá mucha repercusión en los cálculos de los índices.

Por el contrario, si el coeficiente de variación es elevado, ambos elementos tendrán poca relación y su influencia en el índice será mínima. El rendimiento del cultivo se relaciona inversamente con la sumatoria de todos los índices en valor absoluto, por lo que esta sumatoria se considera un índice de la producción y es representativo del balance global de todos los nutrientes implicados en la nutrición de la planta. Se demuestra que un buen balance es más importante a la hora de obtener elevadas producciones que mantener cada nutriente individual en un nivel adecuado.

El DRIS como sistema de diagnóstico foliar, tiene como primer paso el establecimiento de valores estándar o normas DRIS. Para desarrollar las

normas DRIS de una región, se utiliza una muestra representativa de un gran número de sitios al azar, que pueden ser campos comerciales y/o parcelas experimentales bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Se toman muestras de hojas para su análisis y el rendimiento (Sumner, 1986).

La muestra puede estar constituida por una sola planta o por un grupo de plantas y las normas son definidas como los contenidos de los elementos nutrientes en la planta o conjunto de plantas “normales” desde el punto de vista de su estado nutricional. (Malavolta, Vitti y De Oliveira, 1997).

2.8.4.1 Efectos de diferentes variables sobre las normas DRIS

Con relación a la posición de la hoja muestreada. Encontraron que al realizar el diagnóstico con el sistema DRIS en hojas de maíz de variada posición dentro de la planta, solo ocurrieron variaciones menores en el diagnóstico y el nutriente diagnosticado como más necesitado, siempre resultó altamente independiente de la posición de la hoja analizada. (Walworth y Sumner, 1989).

Meldal y Sumner (1980) establecieron las normas DRIS para N, P y K en hojas de papa. Las normas fueron desarrolladas de 745 series de datos por composición elemental de hoja y sus respectivas producciones de tubérculos en la provincia de Natal en Sudáfrica. La población total de observaciones fue dividida en dos subpoblaciones en base a su rendimiento; subpoblación A con rendimientos mayores de 42.5 ton/ha y subpoblación B con producciones menores de 42.5 ton/ha.

Navvabzdeh y Malakouti (1993), desarrollaron las normas DRIS para papa en un suelo calcáreo de Irán. Las normas se establecieron con 50 observaciones para los elementos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B. Las

producciones se dividieron en dos: altas y bajas, usando como criterio de división 30 ton/ha.

Mackay *et. al.* (1987), determinaron las normas DRIS en papa para dos áreas de producción en Canadá con diferentes condiciones de suelo y clima. El valor para poblaciones de altos rendimientos en suelos Boreales fue de 40 ton/ha y para suelos Espodosoles fue 32 ton/ha. Dichos autores concluyeron que las normas publicadas para papa en suelos de Sudáfrica determinadas por Meldad y Sumner (1980) fueron completamente insatisfactorias para diagnosticar deficiencias en cualquiera de las dos regiones Canadienses.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, con coordenadas geográficas: 25°27'37" de latitud norte, 100°58'6" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y altura de 1610 msnm, durante el ciclo otoño invierno del año 2007, en un invernadero tipo túnel de 8 m de ancho x15m de largo (120 m²) y 3.75 m de altura, con sistemas automatizados de pared húmeda y calentamiento a base de gas doméstico.

3.2 Características del área experimental

3.2.1 Temperatura

En cuanto a la temperatura al interior del invernadero se manejó de la siguiente manera., mediante la pared húmeda y extractores programados automáticamente de acuerdo a las necesidades del cultivo. Se registraron datos de temperatura en la parte seca y húmeda del invernadero utilizando sensores Hobo considerando mínimas y máximas.

3.2.2 Humedad Relativa

La humedad relativa se programó automáticamente mediante sensores Hobo para mantener un promedio adecuado de acuerdo a la etapa fenológica de la planta. Se monitoreó en la parte cercana a la pared húmeda y en la más alejada a ella.

3.2.3 Radiación

La radiación total diaria de la parte opuesta a la pared húmeda se colectó con sensor piranómetro modelo LI-200SA de LI-COR, el cual estaba conectado a un datalogger modelo LI-200 de LI-COR.

3.3 Descripción del material experimental

3.3.1 Material vegetativo

Para la realización de este trabajo se utilizó el híbrido de tomate de crecimiento indeterminado Gabriela de la casa comercial Hazera Genetics LTD, Lote 13932, con germinación del 90%.

3.3.2 Híbrido “Gabriela”

Híbrido Gabriela (Fa-593), es una planta con hábito de crecimiento indeterminado muy vigoroso y de madurez relativa intermedia, de una excelente calidad de fruto y con resistencia a enfermedades como verticillium, fusarium razas 1,2, virus del mosaico del tabaco, y nemátodos. Es una planta para cosecha larga (6-8 meses) y por lo tanto su producción es magnífica.

Los tamaños de sus frutos son medianos para mercado Europeo, su forma es achatado globoso y hombros verde claro, cuenta con una excelente firmeza y larga vida de anaquel, tiene la opción de ser cosechado en forma de racimos, ya que la posición de sus frutos dan esta alternativa, puede llegar en invernadero a completar los 30/35 racimos sin ningún problema, madura perfectamente en color rojo. Este híbrido en sus inicios no requiere de grandes cantidades de nitrógeno y agua, por ser una planta muy vigorosa, su rango de adaptabilidad es muy amplio aún en medios de cultivo con una conductividad eléctrica alta. También su adaptabilidad en fechas de siembra es muy alta, pudiendo ser en otoño temprano hasta primavera tarde.

3.3.3 Agua de riego

El agua que se utilizó para la producción de plántulas poseía un pH de 6.51, conductividad eléctrica de 1.26 dSm^{-1} y contenido de bicarbonatos de 6.0 meq L^{-1} según resultados del análisis químico de laboratorio.

3.3.4 Producción de plántulas

El día 2 de agosto del 2007 se realizó la siembra de la semilla de tomate del híbrido Gabriela, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades, con peat moss como sustrato, fueron colocadas en una canaleta de subirrigación. La solución nutritiva utilizada en la producción de plántula fue la propuesta por Cadahia. (Cuadro 6).

Cuadro 6. Formulación de la solución nutritiva empleada para la producción de plántula considerada la ideal por Cadahia (2005).

	meq l^{-1}						ppm					
Ion	NO_3	$\text{H}_2 \text{PO}_4$	SO_4	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Ideal	15	2.0	5.0	10.0	9.0	1.5	2.0	1.0	0.1	0.1	0.5	0.05
Agua	----	-----	6.47	5.0	0.08	7.0						
Aporte	15.0	2.0	-----	5.0	15.0*	----	2.0	1.0	0.1	0.1	0.5	0.05

Se ha observado que dosis altas de potasio, incrementan el diámetro de tallo y la altura de plántula. El K se lixivia fácilmente y debe aplicarse continuamente. (Leskovar, 2001).

* Para este experimento se consideraron 9.0 meq l^{-1} de potasio de la solución ideal en la producción de plántula, mientras que 15 meq l^{-1} se manejaron en los trasplantes. Requejo *et. al.* (2008).

3.3.5 Material utilizado

- Temporizador marca Brinks 120V/60Hz de Hampton Products Corp. para programar los riegos.
- Sensores Hobo para monitorear la temperatura y humedad relativa en la parte cercana a la pared húmeda y en la más alejada a ella.
- La radiación total diaria de la parte opuesta a la pared húmeda se colectó con sensor piranómetro modelo LI-200SA de LI-COR, el cual estaba conectado a un datalogger modelo LI-200 de LI-COR.
- Estufa de sacado modelo OV-510A-2 MCA.BLU, a temperatura fija de 75 C⁰ para secado de muestras foliares.
- 80 plantas del híbrido de tomate de crecimiento indeterminado Gabriela de la casa comercial Hazera Genetics.

3.3.6 Características de la unidad experimental

El experimento estuvo constituido por 40 unidades experimentales, en cada una de ellas se colocaron dos plantas por tratamiento, consideradas como planta A y planta B. Se tomaron hojas representativas de cada tratamiento y formar así un total de 10 muestras. (En donde cada muestra proviene de 4 repeticiones).

3.4 Establecimiento del experimento

Se establecieron diez tratamientos que correspondieron a diferentes mezclas de sustrato con cuatro repeticiones, bajo un diseño de bloques al azar.

3.4.1 Preparación de sustrato

Se fabricaron 40 sacos de plástico de 100 micras de espesor, con 30cm de ancho x 40 cm de largo de un color blanco exterior y negro interior, con volumen de diez litros, donde se colocaron cada una de las mezclas de sustratos a probar. (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tratamientos a base de sustratos evaluados en invernadero Requejo et. al. (2008)

TRAT.	Valores porcentuales	Técnica de obtención de la mezcla
1	89.7 aserrín de coco + 10.3 peat moss	Programación lineal
2	100 aserrín de coco	Programación no lineal
3	100 perlita	Programación lineal y no lineal
4	80.2 perlita + 19.8 aserrín de coco	Programación lineal
5	94 perlita + 6 aserrín de coco	Programación no lineal
6	48.8 perlita + 51.2 aserrín de coco	Programación lineal y no lineal
7	88.2 perlita + 11.8 peat moss	Programación no lineal
8	96 aserrín de coco + 4 tezontle	Programación lineal y no lineal
9	71.9 perlita + 28.1 peat moss	Programación no lineal
10	51.11 aserrín de coco + 28.97 perlita + 19.92 tezontle	Programación lineal

En el Cuadro 8 se describen las propiedades físicas y químicas de los sustratos simples que se utilizaron en las mezclas de sustratos.

Cuadro 8. Propiedades físicas y químicas de los sustratos simples, Noguera y Abad (1997); Ansorena, (1994)

Sustratos	Peat moos	Perlita	Aserrín coco	Tezontle	Optimo
HI (%)	49.22	0.8	60.9	0.53	
CEN (%)	10	100	10	100	
MO (%)	90	0	90	0	>80.0
pH	5.59	8.2	7.1	7.9	6.0
CE (dSm-1)	1.4	0.9	4.2	1.6	<2.0
EPT (%)	72.65	62.4	81.83	50.7	70.0
CA (%)	8.38	5.43	4.48	7.81	10.0
RA (%)	64.27	56.97	77.35	42.89	50.0
DA (gcc-1)	0.07	0.19	0.09	1.17	<0.4
DR (gcc-1)	0.28	0.51	0.49	2.36	<1.0

HI= Humedad inicial, **CEN**= Cenizas, **MO** = Materia orgánica, **pH** = Potencial de hidrógeno, **CE** = Conductividad eléctrica, **EPT** = Espacio poroso total, **CA**= Capacidad de aire, **RA** = Retención de agua, **DA** = Densidad aparente, **DR** = Densidad real.

3.4.2 Trasplante

El trasplante se realizó el día 25 de agosto del 2007 utilizando plántulas de tomate del híbrido Gabriela de crecimiento indeterminado de la casa comercial Hazera Genetics, vigorosas, con promedio de 18 cm de altura y 0.5 cm de diámetro de tallos. Se trasplantaron dos por contenedor, que fueron llamadas planta A y planta B, con cuatro repeticiones por tratamiento. La distancia entre sacos fue de 25 cm, en línea y entre líneas a 1.2 m, logrando una densidad de 2.8 plantas por metro cuadrado, con un total de 80 plantas en el experimento.

3.4.3 Preparación de la solución nutritiva

La solución nutritiva se preparó conforme a los tratamientos descritos, utilizando agua de riego del CIQA. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Formulación de la solución nutritiva empleado después del trasplante y que es considerada ideal según Cadahia, (2005).

Ion	meq l ⁻¹						ppm					
	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Ideal	15	2.0	5.0	10.0	9.0	1.5	2.0	1.0	0.1	0.1	0.5	0.05
Agua	----	-----	6.47	5.0	0.08	7.0						
Aporte	15.0	2.0	-----	5.0	15.0*	----	2.0	1.0	0.1	0.1	0.5	0.05

* Para el este experimento se consideraron 9.0 meq l⁻¹ de potasio de la solución ideal en la producción de plántula, mientras que 15 meq l⁻¹ se manejaron en los trasplantes. Requejo *et. al.* (2008).

3.5 Conducción del experimento

3.5.1 Frecuencia de riegos

El sistema de fertirriego permitió dosificar la solución nutritiva a razón de 3 litros por hora con presión en manómetro de 17 libras por pulgada cuadrada. Se utilizó una pila hidropónica de 500 litros de volumen en donde se mezcló la totalidad de fertilizantes en cada preparación de solución nutritiva. Se consideraron siete eventos de riego al día, controlados con un temporizador de la marca Brinks 120V/60Hz de Hampton Products Corp.

3.5.2 Concentración de la solución nutritiva

En lo que respecta a la solución nutritiva, se siguió el criterio de diluir al 50 por ciento en la etapa previa a floración, aumentando al 75 y 100 por ciento en etapas posteriores, esta decisión dependió de la conductividad eléctrica. Se adicionaron 15 Meq l^{-1} de potasio al elaborar la solución nutritiva con el propósito de optimizar la relación K/ (Ca+Mg) la cual debe estar en torno a 0.9; los micronutrientes se adicionaron al cien por ciento. Requejo *et. al.* (2008).

3.5.3 Control de temperatura

Los registros de temperatura se realizaron de manera automática mediante un sensor conectado a un datalogger Minimum Data Set Recorder Li-1200 de LI-COR Inc, (Figura 1A), del apéndice, de igual manera se monitoreó temperatura ambiente mediante un higrotermómetro digital EXTECH 445702. El control de la temperatura se logró mediante pared húmeda, 2 extractores y dos ventiladores adicionales, que funcionaban con un sensor programado.

3.6 Colecta de muestras foliares para el análisis DRIS

El 28 de noviembre del 2007 Se colectaron muestras foliares al quinto corte de tomate con el fin de conocer el estado nutricional de las plantas establecidas en cada mezcla de sustratos. Se tomaron de 2 a 3 hojas representativas de cada tratamiento, con un total de 10 muestras foliares.

3.6.1 Preparación de las muestras

Una vez colectadas las hojas representativas de cada tratamiento se colocaron en bolsas de papel e inmediatamente fueron llevadas a una estufa de secado modelo OV-510A-2 MCA.BLU. a una temperatura fija de 75 C⁰ por 48 horas, que posteriormente fueron molidas mediante una licuadora y guardadas en frascos bien sellados y etiquetados de acuerdo al número de tratamiento.

3.6.2 Análisis de las muestras foliares

Una vez molidas las muestras fueron llevadas al laboratorio de CENID-RASPA ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango, donde cada elemento fue analizado de la siguiente manera:

- Nitrógeno total analizado mediante el Método Kjeldahl.
- Fósforo Total Mediante colorimetría con solución mixta molibdato-metavanadato de amonio.
- Potasio total por digestión ácido nítrico-perclórico y leídos mediante Absorción Atómica.
- Boro mediante colorimetría por el método de la curcumina.
- Micronutrientes Digestión ácido nítrico-perclórico y leídos mediante Absorción Atómica.

3.6.3 Diagnóstico nutricional por medio del (DRIS)

a) se calcularon las relaciones nutricionales en base a los datos que arrojó el análisis foliar realizado.

Relaciones:

N/P; N/K; N/Ca; Mg/N; K/P; Ca/P; Mg/P; Ca/P; Mg/K; Mg/Ca

b) después de obtener las relaciones, se calcularon las funciones mediante fórmulas establecidas.

Funciones:

$f (N/P) = ((N/P \text{ dato} - N/P \text{ norma}) / N/P \text{ dato}) * 1000 / C.V.$

El denominador varía según sea el valor de la norma y el dato siempre se va a dividir con aquel que tenga menos valor.

c) Una vez estimada la función de cada relación, se calcularon los índices de los nutrientes involucrados.

Índices:

Las siguientes ecuaciones representan la forma general de los índices DRIS, para cada nutriente.

$$I (N) = f (N/P) + f (N/K) + f (N/Ca) - f (Mg/N) / 4$$

$$I (P) = - f (N/P) - f (K/P) - f (Ca/P) - f (Mg/P) / 4$$

$$I (K) = - f (N/K) + f (K/P) - f (Ca/K) - f (Mg/K) / 4$$

$$I (Ca) = - f (N/Ca) + f (Ca/P) + f (Ca/K) - f (Mg/Ca) / 4$$

$$I (Mg) = f (N/Mg) + f (P/Mg) + f (K/Mg) - f (Ca/Mg) / 4$$

Cada índice es la media de todas las funciones de relaciones donde está involucrado el nutrimento. Si el elemento que se calcula esta en el numerador se le respeta el signo (+) y si esta en el denominador se le cambia el signo (-).

d) La suma de los índices positivos y negativos deben ser cero para que exista un balance entre los nutrientes de la muestra analizada. Los índices negativos significan deficiencia y los índices positivos indican suficiencia o excesos relativos. El más negativo es el más deficiente y los que le siguen indican el orden de requerimientos de los nutrientes (Walworth y Sumner, 1987).

e) Una vez determinados los índices DRIS para cada nutriente, se calculó el índice de desbalance nutricional (IDN), sumando todos los índices, independientemente del signo (+ ó -). El valor más grande indica mayor desbalance nutricional y por lo tanto se esperaría un menor rendimiento (Davee *et. al.*, citados por García, 2002).

f) Los datos obtenidos en la analítica foliar de este trabajo fueron analizados considerando primero a N, P, K, Ca, y Mg; luego se incluyeron los micronutrientes en una segunda evaluación mediante el paquete computacional (DRIS) versión 2.5 (Díaz de León *et. al.* 2006). Se analizaron también los datos de manera manual con el uso de normas publicadas por Jones *et. al.* (1991).

Finalmente se incluye el análisis para diez elementos mediante la técnica de desviación del óptimo porcentual (DOP) (Montañés, 1991).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis foliar (Cuadro 10) se corrieron mediante el paquete computacional (DRIS), permitiendo diagnosticar el estado nutricional de la planta dando referencia sobre el nivel de suficiencia e insuficiencia, en este caso el ensayo se realizó con hojas de tomate como material vegetativo.

Con el propósito de comparar resultados se corrieron los análisis DRIS para cinco elementos empleando el paquete computacional (DRIS) versión 2.5 Díaz de León *et. al.* (2006), en condiciones de invernadero y el formulado por Jones *et. al.* (1991), empleando normas generales para tomate en campo abierto, la razón de usar solo cinco elementos es debido a que las normas que proponen Jones *et. al.* (1991) consideran solo (N, P, K, Ca y Mg).

Cuadro 10. Datos del análisis foliar en cultivo de tomate realizado en el laboratorio CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango.

MUESTRA	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	B
T1	3.13	0.58	4.25	3.78	0.85	343	134	44	15	94
T2	2.93	0.532	3.33	4.25	1.24	365	140	46	18	95
T3	2.92	0.688	3.83	3.08	1.11	385	129	48	19	95
T4	3.00	0.66	3.99	2.8	0.84	405	149	46	19	100
T5	2.98	0.624	4.06	2.83	0.87	334	123	48	22	98
T6	3.07	0.624	4.33	3.05	0.82	396	158	52	28	88
T7	2.95	0.68	3.96	2.75	0.83	375	154	52	21	88
T8	3.03	0.754	3.61	2.51	0.91	357	140	53	20	86
T9	3.11	0.776	4.41	2.86	0.74	422	140	49	20	82
T10	3.06	0.708	4.35	2.72	0.68	310	130	43	22	92

4.1 Índices DRIS evaluados con normas para condiciones de invernadero considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg)

En el Cuadro 11 se observa que para el tratamiento uno, el nitrógeno fue el que estuvo más limitado, dando un índice negativo de -26, mientras que el potasio reportó un índice de 2 indicando una suficiencia baja, seguido por el magnesio con 3, posteriormente el fósforo con 4 y por ultimo al calcio que tuvo un índice de 21 este con una suficiencia alta.

Analizando de forma general los resultados, se observa que el nitrógeno, para todos los tratamientos fue el elemento mas limitado con un rango de suficiencia deficiente y bajo, en tanto que el fósforo fue el menos requerido, pues de los 10 tratamientos probados el 6 tuvo rango de suficiencia alto colocándolo al final dentro del orden de requerimiento, seguido por el calcio en tres y por el magnesio en uno.

4.1.1 Índice de Desbalance Nutricional (IDN)

Con respecto al IDN (Cuadro 11), se encontró que el tratamiento dos fue el que presentó mayor desbalance con 108, seguido por el tratamiento 3 con índice de 84, el ocho con 71, para el siete reportó un índice de 60, para los tratamientos 4 y 9 se tuvo un balance de 57, en tanto que para el 10,1, y 5 se obtuvo el mismo índice de 56, mientras que el tratamiento 6 registró el mejor balance con 51.

Al asociar los niveles de desbalance con los rendimientos totales por tratamiento reportados en el Cuadro 1A del apéndice se encontró que el tratamiento dos fue el que registró mayor desbalance, pero de igual forma un mayor rendimiento, contradictorio a lo señalado por Davee *et. al.*, citados por García (2002), quienes mencionan que el valor más grande indica mayor desbalance nutricional y por lo tanto se esperaría un menor rendimiento,

mientras que para el tratamiento 6 que presentó mejor balance con 51 el rendimiento fue de 42.412 kg, no muy favorable en comparación con los demás tratamientos.

Los datos que se presentan en el cuadro 11 se obtuvieron empleando el paquete computacional para (DRIS) desarrollado en el Campo Experimental Celaya Guanajuato. INIFAP-SAGARPA, Díaz de León *et. al.* (2006)

Cuadro 11. Resultados obtenidos mediante el Sistema Integrado de diagnóstico (DRIS) considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) Díaz de León *et. al.* (2006)

Tratamiento		N	P	K	Ca	Mg	IDN	Orden de Requerimiento
1	C	3.13	0.58	4.25	3.78	0.85		N>K>Mg>P>Ca
	I	-26	4	-2	21	3	56	
2	C	2.93	0.532	3.33	4.25	1.24		N>K>P>Mg>Ca
	I	-33	1	-21	28	25	108	
3	C	2.92	0.688	3.83	3.08	1.11		N>K>Ca>P>Mg
	I	-32	13	-10	11	18	84	
4	C	3	0.66	3.99	2.8	0.84		N>K>Mg>Ca>P
	I	-25	13	-3	10	6	57	
5	C	2.98	0.624	4.06	2.83	0.87		N>K>Mg>Ca=P
	I	-26	10	-2	10	8	56	
6	C	3.07	0.62	4.33	3.05	0.82		N>K>Mg>P>Ca
	I	-25	9	1	12	4	51	
7	C	2.95	0.68	3.96	2.75	0.83		N>K>Mg>Ca>P
	I	-26	15	-4	9	6	60	
8	C	3.03	0.75	3.61	2.51	0.91		N>K>Ca>Mg>P
	I	-25	20	-11	5	10	71	
9	C	3.11	0.77	4.41	2.86	0.74		N>Mg>K>Ca>P
	I	-26	19	0	10	-2	57	
10	C	3.06	0.708	4.35	2.72	0.68		N>Mg>K>Ca>P
	I	-24	16	2	10	-4	56	

C= concentración del tejido vegetal; I = valor índice DRIS; IDN= índice de desbalance nutricional.

4.2 Índices DRIS evaluados con normas para condiciones de invernadero considerando 10 elementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn Cu, B)

El Cuadro 12, correspondiente a resultados obtenidos mediante el Sistema Integrado de diagnóstico (DRIS), observa un índice de -27 de nitrógeno para el tratamiento uno colocándolo como el elemento con mayor deficiencia en la planta, seguido por el hierro con -18, cobre -15, potasio -7, zinc -6, magnesio y fósforo con 0, calcio y boro con 15 y como al elemento más abundante en la planta el manganeso con 42. Los tratamientos del dos al diez se interpretan de la misma manera. Al visualizar el orden de requerimiento se aprecia que el nitrógeno fue el elemento más requerido por la planta para todos los casos, seguido por el hierro, mientras que el manganeso fue el más abundante, para todos los casos.

4.2.1 Índice de Desbalance Nutricional (IDN)

Analizando el IDN para 10 elementos Figura 3A del apéndice para los casos evaluados, en el tratamiento dos se obtuvo un mayor desbalance nutricional con 194, en tanto que tratamiento 6 fue el que presentó un mejor balance con 122. Comparando los resultados analizados para 5 y 10 elementos, en los dos casos el tratamiento 2 presentó mayor desbalance y el 6 como el mejor balanceado.

En lo que respecta al rendimiento se tiene al tratamiento dos como el mejor con 49.624 kg mientras que el rendimiento más bajo se presentó en el tratamiento 6 con 42.412 kg. (Ver Cuadro 1A del apéndice).

Cuadro 12. Resultados obtenidos mediante el Sistema Integrado de diagnóstico (DRIS) considerando 10 elementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn Cu, B) (INIFAP-Campo Experimental Saltillo)

Trat.		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	B	IDN	Orden de Requerimiento
1	C	3.13	0.58	4.25	3.78	0.85	343	134	44	15	94		N>Fe>Cu>K>Zn>Mg=P>Ca=B>Mn
	I	-27	0	-7	15	0	42	-18	-6	-15	15	145	
2	C	2.93	0.532	3.33	4.25	1.24	357	140	46	18	95		N>K>Fe>Cu>Zn>P>B>Mg>Ca>Mn
	I	-34	-4	-23	20	17	44	-19	-6	-11	16	194	
3	C	2.92	0.688	3.83	3.08	1.11	385	129	48	19	95		N>Fe>K>Cu>Zn>Ca>P>Mg>B>Mn
	I	-34	6	-15	4	11	49	-22	-5	-9	15	170	
4	C	3	0.66	3.99	2.8	0.84	405	149	46	19	100		N>Fe>K>Cu>Zn>Mg>Ca>P>B>Mn
	I	-32	4	-12	-1	-2	53	-14	-6	-9	18	151	
5	C	2.98	0.624	4.06	2.83	0.87	334	123	48	22	98		N>Fe>K>Zn>Cu>Mg=Ca>P>B>Mn
	I	-29	4	-9	2	2	40	-20	-5	-3	18	132	
6	C	3.07	0.62	4.33	3.05	0.82	396	158	52	28	88		N>Fe>K>Zn=Mg>P=Cu>Ca>B>Mn
	I	-31	1	-9	2	-4	47	-13	-4	1	10	122	
7	C	2.95	0.68	3.96	2.75	0.83	375	154	52	21	88		N>Fe>K>Cu>Zn>Mg>Ca>P>B>Mn
	I	-31	6	-11	0	-1	47	-12	-3	-5	12	128	
8	C	3.03	0.75	3.61	2.51	0.91	357	140	53	20	86		N>Fe=K>Cu>Ca=Zn>Mg>P>B>Mn
	I	-28	11	-16	-3	3	45	-16	-3	-6	12	147	
9	C	3.11	0.77	4.41	2.86	0.74	422	140	49	20	82		N>Fe>Mg=Cu=K>Zn>Ca>P=B>Mn
	I	-30	10	-8	0	-8	56	-18	-5	-8	10	153	
10	C	3.06	0.708	4.35	2.72	0.68	310	130	43	22	92		N>Fe>Mg>Zn>K>Cu>Ca>P>B>Mn
	I	-26	9	-4	2	-8	37	-17	-6	-2	16	127	

4.2.2 Desviación del óptimo porcentual considerando 10 elementos

De acuerdo al DOP para el tratamiento uno (ver cuadro 13) se tiene que el nitrógeno con el 89% fue el único elemento que estuvo por debajo del rango óptimo (3.5%). Muy por encima del óptimo se observó el manganeso en 13.7 veces mas se considera óptimo un valor de 25 según Díaz de León *et. al.* (2006).

Con en paquete de Díaz de León para el tratamiento uno se tuvo el orden de requerimiento $N > Fe > Cu > K > Zn > Mg = P > Ca = B > Mn$. Mientras que en el DOP el orden de requerimiento fue $N > K > P > Mg > Zn > Fe > Cu > B > Ca > Mn$.

En los 10 tratamientos el nitrógeno resulto por debajo del rango óptimo siendo el único elemento con deficiencia reportado por este método. En tanto que para el manganeso fue todo lo contrario, pues estuvo en un rango mayor al 1200 para los diez casos. Por los dos métodos (DRIS y DOP) se tiene al nitrógeno como deficiente y al manganeso con un mejor balance.

CUADRO 13. Desviación del óptimo porcentual utilizando rangos de suficiencia baja, tomados del paquete computacional para (DRIS) en 10 elementos Díaz de León *et. al.* (2006)

R. S.		3.5	0.3	3.5	1	0.35	25	50	18	5	30
Trat.		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	B
T1	Análisis	3.13	0.58	4.25	3.78	0.85	343	134	44	15	94
	DOP.	89.4	193	121.4	378	242.8	1374	268	244	300	313
T2	Análisis	2.93	0.532	3.33	4.25	1.24	365	140	46	18	95
	DOP.	83.7	176.6	95.1	125	354.2	1460	280	255	360	316
T3	Análisis	2.92	0.688	3.83	3.08	1.11	385	129	48	19	95
	DOP.	83.4	226.6	109.42	308	317.1	1540	258	266	380	316
T4	Análisis	3	0.66	3.99	2.8	0.84	409	149	46	19	100
	DOP.	84.71	220	114	280	240	1620	298	255	380	333
T5	Análisis	2.98	0.624	4.06	2.83	0.87	334	123	48	22	98
	DOP.	85.1	206.66	116	283	248	1336	246	266	440	326
T6	Análisis	3.07	0.624	4.33	3.05	0.82	396	158	52	28	88
	DOP.	87.7	206.6	123.71	305	234.2	1584	316	288	560	273
T7	Análisis	2.95	0.68	3.96	2.75	0.83	375	154	52	21	88
	DOP.	84.2	226.6	113.14	275	237.1	1500	308	288	420	293
T8	Análisis	3.03	0.754	3.61	2.51	0.91	357	140	53	20	86
	DOP.	86.5	250	103.14	251	260	1428	280	294	400	286
T9	Análisis	3.11	0.776	4.41	2.86	0.74	422	140	49	20	82
	DOP.	88.8	256.6	126	286	211.4	1768	280	272	400	293
T10	Análisis	3.06	0.708	4.35	2.72	0.68	310	130	43	22	92
	DOP.	87.4	232.3	124.28	272	194.2	1240	260	238	440	306

R. S= Rango de suficiencia

DOP= Desviación del Optimo Porcentual

4.3 Índices DRIS evaluados con normas establecidas para campo abierto considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg)

De acuerdo a las normas establecidas por Jones *et. al.* (1991) en el Cuadro 14 se observa que para el tratamiento uno, el nitrógeno fue el elemento mas limitante con un índice de deficiencia de -57.58, seguido por el fósforo con -29.9, el potasio con -13.35, el calcio con un balance de 42.56 en tanto que el magnesio fue del mas abundante con 58.34. Para todos los tratamientos, el nitrógeno fue el elemento que presento más deficiencia colocándolo en primer lugar en el orden de requerimiento, en tanto que el magnesio fue el mejor balanceado dentro de la planta.

Comparando los diagnósticos generados para condiciones de campo abierto Jones *et. al.* (1991) e invernadero Díaz de León *et. al.* (2006) se observa en ambos la carencia de nitrógeno, en tanto que para los otros elementos si hubo variaciones nutrimentales importantes aspecto que debe considerarse delicado. Normas generadas para campo abierto, no sirven para diagnóstico nutricional al interior de invernadero y viceversa.

4.3.1 Índice de Dasbalance Nutricional (IDN)

De acuerdo al Cuadro 14 el mayor IDN se presentó en el tratamiento dos con 374.29 y el menor en el nueve con 115.72, esto coincide con los diagnósticos a campo abierto, aunque los IDN fueron diferentes para cada caso. Comparando los resultados del diagnóstico para 5 elementos por el método DRIS, de Díaz de León *et. al.* (2006), donde se tiene al tratamiento dos como el mas desbalanceado, para condiciones de invernadero con 108 (Cuadro 11), con el de Jones *et. al.* (1991) en condiciones de campo abierto con 374.29 (Cuadro 14), se encontraron mejores resultados con el paquete DRIS para invernadero, pues el experimento fue establecido bajo estas condiciones.

Cuadro 14. Datos obtenidos utilizando las normas DRIS considerando 5 elementos (N, P, K, Ca, Mg) Para condiciones de campo abierto. Jones *et. al.* (1991).

Trat.		N	P	K	Ca	Mg	IDN	Orden de Requerimiento
1	C	3.13	0.58	4.25	3.78	0.85		N>P>K>Ca>Mg
	I	-57.58	-29.9	-13.35	42.56	58.34	201.73	
2	C	2.93	0.532	3.33	4.25	1.24		N>K>P>Ca>Mg
	I	-79.58	-48.4	-59.15	73.65	113.51	374.29	
3	C	2.92	0.688	3.83	3.08	1.11		N>K>P>Ca>Mg
	I	-69.51	-19.9	-25.27	28.34	86.17	229.19	
4	C	3	0.66	3.99	2.8	0.84		N>P>K>Ca>Mg
	I	-51.55	-15.2	-15.24	24.07	58.14	164.21	
5	C	2.98	0.624	4.06	2.83	0.87		N>P>K>Ca>Mg
	I	-54.34	-18.6	-13.74	25.36	61.57	173.61	
6	C	3.07	0.62	4.33	3.05	0.82		N>P>K>Ca>Mg
	I	-51.04	-20.3	-10.12	29.67	51.86	162.95	
7	C	2.95	0.68	3.96	2.75	0.83		N>P>K>Ca>Mg
	I	-62.44	-10.6	-4.37	21.36	56.13	154.98	
8	C	3.03	0.75	3.61	2.51	0.91		N>K>P>Ca>Mg
	I	-51.84	-6.76	-23.92	15.09	67.44	165.07	
9	C	3.11	0.776	4.41	2.86	0.74		N>K>P>Ca>Mg
	I	-48.05	-1.29	-8.50	22.87	34.98	115.72	
10	C	3.06	0.708	4.35	2.72	0.68		N>P>K>Ca>Mg
	I	-44.59	-16.8	-5.87	21.74	45.58	134.58	

V. CONCLUSIONES

Considerando el objetivo propuesto en un principio de analizar el estado nutricional del tomate en diferentes mezclas de sustratos hidropónicos se concluye lo siguiente:

Con el paquete computacional para DRIS propuesto por Díaz de León *et. al.* (2006) se reportó al nitrógeno como el elemento que provocó mayor deficiencia nutricional. Aunque este problema no fue reflejado por la planta de manera visual.

En el diagnóstico nutricional para N, P, K, Ca, y Mg, considerando las diferentes mezclas de sustratos para cada tratamiento, se encontró que en el tratamiento dos (100 % Aserrín de coco) existe el mayor desbalance con un IDN= 108 mientras que el mejor balanceado con IDN= 51 fue el tratamiento 6 (48.8% perlita + 51.2% aserrín de coco).

Con el mismo paquete para DRIS se realizó el diagnóstico para 10 elementos y de igual forma el nitrógeno fue el elemento más deficiente para todos los tratamientos.

El tratamiento dos (100% aserrín de coco) fue el que presentó mayor desbalance con un IDN= 194, en tanto que el tratamiento 6 (48.8% perlita + 51.2% aserrín de coco) con IDN= 122 presentó el mejor balance.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad, M. B. y Cadahia, L. C. 2000. Fertirrigación, Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi Prensa. 2.^a edición, España.
- Abad, M. B.; Martínez, P. F.; Martínez, M. D., y Martínez, J. 1993. "Evaluación Agronómica de los Sustratos de Cultivo". *Acta de Horticultura*, 11.
- Abad, M.; Noguera, P.; y Noguera, V. 1996. "Turbas para semilleros" . En: *II Jornadas Sobre Semillas y Semilleros Hortícolas*. Congreso y jornadas, 35/96 Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca de Sevilla.
- AMHPAC, 2008. Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A.C.
<http://www.amhpac.org.mx>
- AMPHI, 2006. Asociación mexicana de productores de hortalizas en invernadero.
- Alpini, A. 1999. Cultivo en invernadero. Editorial Mundi – Prensa. 3.^a edición Madrid, España.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science*. 1: 1- 132. University of Natal. Sur África.
- Bringas G. L. 2005. Sustratos, en Productores de Hortalizas. Febrero del 2005. pp. 56 y 57.

- Bunt, A. C. 1998. *Media and Mixes for Container-Grown Plants 2ª ed.* Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
- Cadahia, L. C. 2005. *Fertirrigación, cultivos hortícolas y Ornamentales.* Ediciones Mundi Prensa. 3.ª edición, España.
- Carpena, A. O. y Carpena, R. R. O. 1982. "Balance Nutriente Evolutivo: Aplicaciones" *anal. Edaf. y agrobiol*, 41 (7-8), pp. 1355-1371.
- Castellanos, J. Z., 2003. *El Uso de Sustratos en Horticultura Bajo Invernadero. Manual de Producción Hortícola en Invernaderos* INCAPA, México pp. 130-156.
- Cedeño, R. B. 2006. *Fertirrigación*, CIQA, saltillo, Coahuila, México.
- Díaz de León T. J. G., Mejía, A. C. y Gamez, V. F. (2006). *Paquete computacional del Sistema Integrado de Diagnostico y Recomendación.* INIFAP-Campo Experimental Celaya, Guanajuato, México.
- Escano, C. R., Jones, C. A. and Uehara. G. 1981. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystradepts: II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1140-1144.
- Fernández, M. M.; Aguilar, M. I.; Carrique J. R.; Tortosa, J.; García, C.; López, M.; Pérez, J. M. 1998. *Suelo y medio ambiente en invernaderos.* Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla.
- FIRA. 2005. *Curso de Hidroponía Básica.* Centro de Desarrollo Tecnológico en Tezoyuca, Morelos, México.

- García, G. S. J. 2002. Establecimiento de normas DRIS y diagnóstico nutricional para el cultivo de papa en Coahuila y Nuevo León.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de Horticultura Cubana. Instituto Cubano del libro. La Habana, Cuba.
- Guzmán, P. M. 2002. Acondicionamiento nutritivo en semilleros y repuesta postrasplante en hortalizas, Universidad de Almería, España.
- Jones, J. B.; Wolf, B. y Mills, H. A. (1991). Plant analysis handbook. Micro-Macro Pubs. Athens, Georgia. USA.
- León. G. H. M. 1980. El cultivo del tomate para consumo fresco, en el valle de Culiacán. Edición (INIA) de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Leskovar, D. I. 2001, Producción y ecofisiología del trasplante hortícola. Texas A&M University, USA.
- López, G. M. 2007. La Fertirrigación en la Producción Vegetal, V Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero: Monterrey, Nuevo, León México.
- Mackay, D. C., Carefoot J. M. and Entz. T. 1987. Evaluation of the DRIS procedure for assessing the nutritional status of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 18:1331-1353.
- Malavolta, E. G. y. De Oliveira, S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações. 2a edição. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Brasil.

- Marfá, O. and Martínez, A. 1993. "The use of fine –grade perlites in lecttuse bag cultures. II. Physical properties rheologic effects and productivity". *Acta Horticulturae*, 342 pp. 339-348.
- Marquez, Y. 1978. Guía para el control de los hongos del suelo en el cultivo de tomate utilizado en el sistema de tectirrigacion. División agropecuaria Merk Sharp y Dohme de México.
- Martínez E. y García M. 1993. Cultivo sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ediciones de Horticultura, S. L., Reus, pp. 123.
- Meldal, J. A. and Sumner, M. E.1980. Foliar diagnostic norms for potatoes. *Journal of plant nutrition*. 2 (5): 569-576.
- Montañés, L.;Heras, L. y Sanz, M. 1991. "Desviación del Optimo Porcentual (DOP): Nuevo Índice Para la Interpretación del Análisis Vegetal" . *An. Aula Dei*, 20 (3-4), pp. 93-107.
- Muñoz, R. J. J. 2003. El cultivo de tomate en invernadero. p. 26. Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México.
- Navvabzdeh, M. and Malakouti, M.J.1993. Development of DRIS norms for potato in the calcareous soils of Iran. *Journal of Plant Nutrition*. 16(8): 1409-1416.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Editorial Mundi – Prensa. Barcelona, España. Pp. 15 – 291.
- Nuez, F. 1999. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España.

- Nuez, F. 2001. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España.
- Parent, L. E.; Poirier, M. y Asselin, M. 1995. "Multinutrient Diagnosis of Nitrogen Status in Plants". *j. plant nutr.*, 18 (5), pp. 1013-1025.
- Plennecassagne, A., Romero F. E. y López B. C. 1997. Manual de Laboratorio, Métodos de análisis de suelos, aguas y plantas Gómez Palacio, Durango, México. 173 p.
- Instituto del Fosfato y la Potasa, P.P.I. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos, Versión en Español, México.
- Puustjarvi, V. 1994. La Turba y su manejo en Horticultura. Ediciones de Horticultura, S L., Reuns, pp. 123.
- Quintanilla, R. R. A. 1997. Encalado y Fertilización Nitrofosforada en Papa. Tesis de Maestría U. A. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Ramírez, V. O. 2005. Evaluación de Tres Sustratos Hidropónicos a Solución Perdida y Recirculada en la Producción de Tomate Determinado (Cultivar Floradade). Tesis de Licenciatura U. A. A. A. N. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
- Requejo, L. R., Olivares, S. E., Vázquez, A. R. E., Rodríguez, F. H., Munguia, L. J. P., y García, G. S. J., 2008. Artículo científico (sometido a publicación). Eficiencia en el uso de agua y nutrimentos del tomate establecido en sustratos hidropónicos. Facultad de Agronomía, UANL. México.

- SAGARPA, 2002. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Volumen 1. Cuadro de Estadísticas Agropecuarias. D. F. México.
- Samperio, R. G. 2004. Un Paso Mas de la Hidroponía 1ª edición Editorial Diana, México.
- Sánchez, L. A. 2001. Apuntes de producción de hortalizas 1. Departamento de Horticultura, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- SIAP, 2005. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/antomate.html>
- Sumner, M. E. 1979. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J. Vol. 71: 343-348 U.S.A.
- Sumner, M. E. 1986. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. International Seminar on Leaf Diagnosis as a Guide to Orchard Fertilization. Food and Fertilizer Technology Center for Asia and Pacific Region. Suweon, Korea. Boletín 231. Taiwan. pp. 24.
- Terres, V.; Artetxe, A.; Beunza, A. 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivo. Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.
- Urrestarazu, M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Editorial Mundi – Prensa. Almería España. pp. 50 – 554.
- Valadez, L. A. 1997. Producción de Hortalizas; Sexta Edición; Editorial UTEHA; México.

Vázquez, R. 2004. Producción de tomate bola bajo diferentes sustratos Hidropónicos. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Villareal, Q. J. A. 2005. Apuntes de la Materia Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Walworth, J. y M. E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Adv. Soil. Sci. 6:149-188.

VII. APENDICE

Cuadro 1A. Rendimientos totales por tratamiento.

Tratamiento	Mezclas	Rendimiento kg.
1	89.7 aserrín de coco + 10.3 peat moss	49.618
2	100 aserrín de coco	49.624
3	100 perlita	48.285
4	80.2 perlita + 19.8 aserrín de coco	42.322
5	94 perlita + 6 aserrín de coco	43.348
6	48.8 perlita + 51.2 aserrín de coco	42.412
7	88.2 perlita + 11.8 peat moss	40.993
8	96 aserrín de coco + 4 tezontle	43.961
9	71.9 perlita + 28.1 peat moss	43.772
10	51.11 aserrín de coco + 28.97 perlita + 19.92 tezontle	42.494
Rendimiento total		446.829

Cuadro 2A. Normas (DRIS) para tomate en condiciones de campo abierto Jones *et. al.* (1991).

form of expression ²	mean	c.v(%)
N	4.50	14.8
P	0.75	25.6
K	4.36	19.2
Ca	1.72	20.0
Mg	0.34	22.9
N/P	6.30	23.9
N/K	1.06	18.8
N/Ca	2.71	25.3
10 Mg/N	0.76	23.1
K/P	6.14	28.1
Ca/P	2.45	31.8
10 Mg/P	4.74	30.7
10 Ca/K	4.02	18.6
100 Mg/K	8.00	27.7
10 Mg/Ca	2.04	32.3

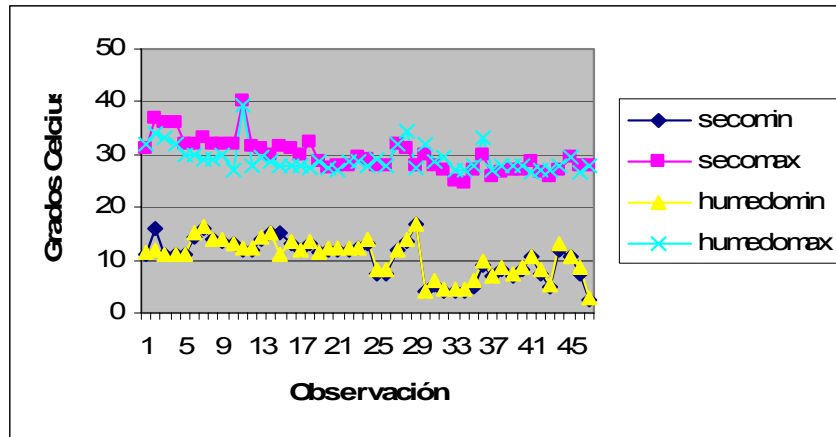


Figura 1A. Temperaturas máximas y mínimas registradas en el invernadero.

En la parte seca del invernadero opuesta a la pared húmeda se registró una mínima de 10.38 y una máxima de 29.77 (Figura 2A). En tanto, cerca de la pared húmeda se obtuvo la mínima de 10.58 y la máxima de 29.15 en promedio.

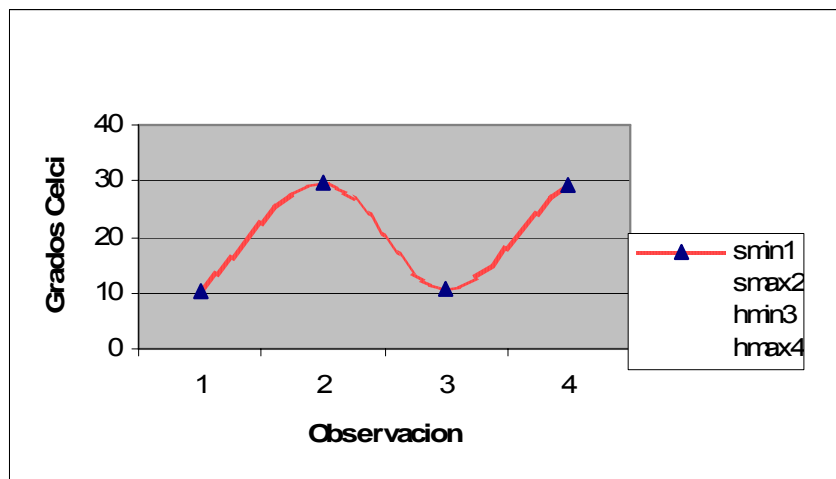


Figura 2A. Temperaturas medias registradas en el invernadero.

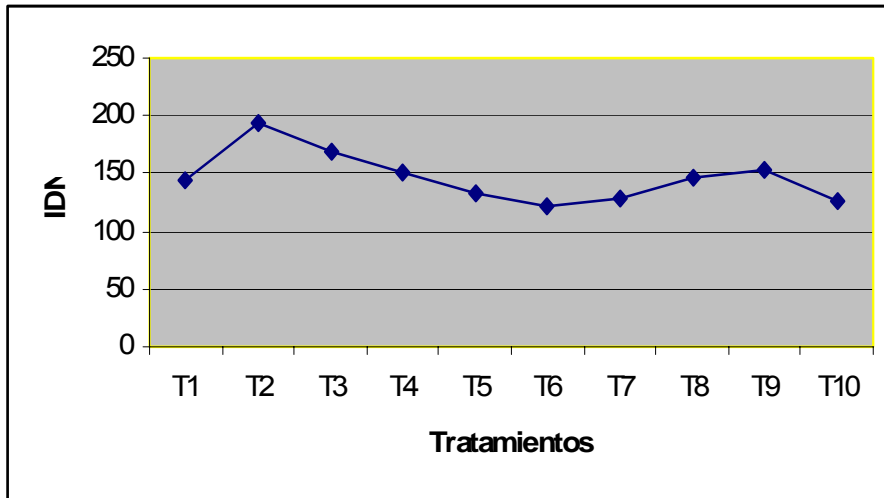


Figura 3A. IDN considerando 10 elementos.