



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

*"TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION
AGRICOLA ACTUAL. EVALUACION. DE
SUSTRATOS EN LA PRODUCCION HIDROPONICA
DE JITOMATE (Lycopersicon esculentum)"*

SEMINARIO DE TITULACION

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A :

JOSE ISABEL GONZALEZ GONZALEZ

ASESOR: ING. CARLOS GOMEZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: OFICIO DE TERMINACION
DE LA PRUEBA ESCRITA.

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-C.

Con base en los art. 19 y 20 del Reglamento General de Exámenes, informo a ud., que ha sido
concluido el trabajo de Seminario Tópicos Selectos de la Producción
Agrícola Actual, Evaluación de Sustratos en la Producción
Hidropónica de Jitomate (Lycopersicum esculentum)

que presenta el pasante: José Isabel González González
con número de cuenta: 7826826 - 9 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Agrícola

Bajo mi asesoría, cubriendo los requisitos académicos.

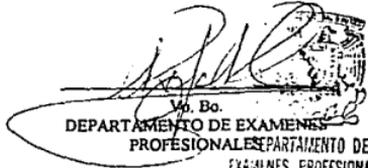
ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 10 de Noviembre de 1994.


Ing. Carlos Gómez García.
NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN


Vn. Bn.
DEPARTAMENTO DE EXAMENES
PROFESIONALES DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

UAE/DEPA/TDI

DEDICATORIA

A mis padres:

Victor y Margarita

A quienes debo todo lo que soy.

A mis hermanos:

Brígido, Juanita, Inés, Ma. Dolores, Guillermo
y muy especialmente a Gaspar de quien guardo el
mejor de los recuerdos, por el apoyo y cariño
que siempre me mostro, que donde se encuentre,
todos mis esfuerzos estan dedicados a su memoria.

A mis sobrinos:

A quienes quiero tanto y espero que ellos también
logren sus metas deseadas.

A Olivia:

Por su cariño, apoyo y paciencia mostrados para
conmigo.

A todos mis amigos, compañeros y familiares, por sus consejos,
motivación y tiempo que me brindaron y que nunca olvidaré.

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Ing. Guillermo Basante Butrón por su esfuerzo y apoyo para la apertura del Seminario de Titulación, así como por la amistad que le ha brindado al grupo.

Al M. en C. Edvino Josafat Vega por la ayuda y amistad brindada.

Al Ing. Carlos Gómez García por su orientación y asesoría para la terminación de este trabajo.

A los profesores de la F.E.S - Cuautitlán por sus enseñanzas.

De manera muy especial, expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, que a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán me brindó la oportunidad de realizarme como profesionista.

C O N T E N I D O

	PAGINA
INDICE	i
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
ABREVIATURAS	vi
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
HIPOTESIS	3
I. REVISION DE LITERATURA	4
A. CLASIFICACION TAXONOMICA DEL JITOMATE	4
B. ORIGEN E IMPORTANCIA	4
C. DESCRIPCION DE LA PLANTA	8
1. RAIZ	8
2. TALLOS Y HOJAS	8
3. FLORES Y FRUTOS	9
D. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	10
1. TEMPERATURA	10
a. CRECIMIENTO	10
b. FLORACION	10
c. FRUCTIFICACION	11
2. LUZ	14
3. EDAFICOS	14
4. HIDRICOS	15
E. GENERALIDADES DE LA HIDROPONIA	16
1. DEFINICION	16

	PAGINA
2. VENTAJAS DE LA HIDROPONIA	16
3. DESVENTAJAS DE LA HIDROPONIA	18
F. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA HIDROPONICO	19
1. CONTENEDORES	19
2. SOLUCION NUTRITIVA	20
3. PLANTULAS	21
4. SUSTRATOS	23
G. ANTECEDENTES DE LOS SUSTRATOS EN HIDROPONIA	24
H. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS	26
1. FISICAS	26
a. POROSIDAD	26
b. RETENSION DE HUMEDAD	27
c. DURACION	27
d. GRANULOMETRIA	28
e. OTRAS PROPIEDADES	28
2. QUIMICAS	28
a. CESION DE IONES A LA SOLUCION NUTRITIVA	29
b. RETENCION DE IONES	29
3. BIOLÓGICAS	31
4. ECONOMICAS	31
I. SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DE JITOMATE	33
1. TURBA	33
2. AGROLITA O PERLITA	33
3. ASERRIN	34
4. CORTEZA	35
5. ARENAS	36

	PAGINA
6. MATERIAL VOLCANICO	36
a. TEZONTLE ROJO	37
b. TEZONTLE NEGRO	37
7. VERMICULITA	39
8. LANA DE ROCA	39
9. MEZCLA DE DIFERENTES MATERIALES	40
J. RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN JITOMATE, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, UTILIZANDO DIFERENTES SUSTRATOS	42
II. MATERIALES Y METODOLOGIA	49
A. INVERNADERO	49
B. CONTENEDORES	49
1. SEMILLERO	49
2. LUGAR DEFINITIVO	49
C. SOLUCION NUTRITIVA	50
D. PLAGUICIDAS	51
E. SUSTRATOS	51
F. PLANTAS	52
G. MATERIAL DE LABORATORIO	52
H. VARIABLES A EVALUAR	53
I. TRATAMIENTO PREVIO A LOS SUSTRATOS	53
J. DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUSTRATOS	54
1. DENSIDAD APARENTE	54
2. DENSIDAD REAL	55
3. POROSIDAD	56
K. DISEÑO EXPERIMENTAL	56
III. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	61

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL TEXTO.

	PAGINA
Cuadro 1. Contenido nutricional en una libra de jitomate....	5
Cuadro 2. Producción nacional, superficie cosechada y rendimiento de Tomate rojo durante el periodo 1980-1988	6
Cuadro 3. Producción nacional en toneladas de jitomate por estados. Período 1982-1987.....	7
Cuadro 4. Temperaturas óptimas para el desarrollo del jitomate.....	13
Cuadro 5. Rendimiento en sistemas hidropónicos y tradicionales.....	17
Cuadro 6. Características óptimas de los sustratos.....	32
Cuadro 7. Características de diversos sustratos.....	41
Cuadro 8. Rendimiento de diferentes variedades de jitomate bajo condiciones hidropónicas, utilizando como sustrato tezontle rojo.....	43
Cuadro 9. Rendimientos obtenidos utilizando 7 diferentes soluciones nutritivas, utilizando agrolita y tezontle como sustrato.....	44
Cuadro 10 Rendimientos obtenidos utilizando 5 diferentes sustratos y 3 mezclas diferentes de sustratos.....	44
Cuadro 11 Rendimiento obtenido en dos diferentes variedades de jitomate, experimentando tres diferentes densidades y dos densidades diferentes.....	45
Cuadro 12 Rendimientos obtenidos con tres diferentes densidades de plantación en jitomate, variedad Florida.....	46
Cuadro 13 Rendimientos obtenidos en jitomate, cultivado bajo condiciones hidropónicas.....	46
Cuadro 14 Propuesta de cantidad de fertilizantes a utilizar para la preparación de la solución nutritiva.....	51
Cuadro 15 Rango en el cual se buscará mantener los sustratos	54

Figura 1. Vista frontal de las láminas a utilizar.....	50
Figura 2. Disposición espacial de los tratamientos dentro del invernadero.....	57
Figura 3. a) Vista aérea de una unidad experimental.	
b) Vista lateral de una unidad experimental.....	58

RESUMEN.

El presente trabajo esta considerado dentro de la línea de investigaciones bibliográficas del Seminario de Titulación " Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual " y esta basado fundamentalmente en el modulo " Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, y Taller de Hidroponia "

Este trabajo tuvo como objetivos estudiar las características físicas más importantes como son: densidad aparente, densidad real y porosidad, en siete diferentes sustratos de fácil obtención y observar en cual de los sustratos se producen los más altos rendimientos en una producción hidropónica de jitomate, variedad Floradade, - cuyos frutos son redondos y de tamaño mediano.

El diseño experimental propuesto es de bloques al azar con siete - tratamientos y cuatro repeticiones.

Como sustratos se proponen: arena, tezontle rojo, tezontle negro aserrín, agrolita vermiculita y gravilla.

Como contenedores propuestos estan láminas acanaladas de fibra de vidrio, las cuales tienen una superficie de 1 m^2 y se colocan cuatro plantas por cada una.

El riego es por goteo y dura cuatro horas diarias en dos períodos de dos horas cada uno. La solución nutritiva que no es aprovechada durante el riego es colectada por una canaleta, para su posterior - reutilización.

ABREVIATURAS.

BCN	Baja California Norte.
°C	grados celsius.
Ca	calcio.
CIC	capacidad de intercambio cationico.
F	hierro
FAO	Food and Agriculture Organization.
g	gramo, gramos.
H	hidrógeno.
ha	hectárea.
kg	kilogramo, kilogramos.
K	potasio.
ml	mililitro, mililitros.
m	metro, metros.
mg	miligramo, miligramos.
msnm	metros sobre el nivel del mar.
nal	nacional.
n.d.	dato no disponible.
pH	potencial hidrógeno.
pl	planta, plantas.
ppm	partes por millón.
SARH	Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
SLP	San Luis Potosí.
ton.	tonelada, toneladas.
U.I.	unidades internacionales.

INTRODUCCION.

El presente trabajo, es una investigación bibliográfica de resultados que se han obtenido en la producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo condiciones hidropónicas, en el cual se considera principalmente los sustratos utilizados por los investigadores, - asimismo se propone un sistema hidropónico para estudiar cual o - cuales sustratos son los más convenientes para una producción hidropónica de jitomate.

En México el cultivo del jitomate es de gran importancia, debido a que es el cultivo hortícola que se siembra en mayor superficie, - genera más valor en la producción y es el de mayor exportación. Además de que es la hortaliza que más se consume en el país, se - considera como una hortaliza de consumo diario.

La exportación de jitomate a Estados Unidos de Norteamérica y el Canadá va en aumento, lo mismo que los precios pagados a los productores. Por lo que una producción intensiva de jitomate constituye un atractivo comercial para los agricultores con poca extensión de terreno para su producción y es un recurso potencial para el empleo de mano de obra rural.

Una tecnología para esta producción intensiva, que puede llevarse a cabo y que se ha probado con éxito en diferentes países del mundo como: Australia, Israel, Italia, Kuwait, Brasil, Polonia, Malasia, Singapur, Irán, entre otros y en nuestro país, es el sistema de producción hidropónico.

Uno de los componentes principales del sistema hidropónico es el - sustrato, que además tiene una participación muy importante en el

costo del sistema, de tal manera que sí se encuentra un material abundante en la región, por consiguiente barato, con el que se obtengan buenos rendimientos, se puede disminuir los costos en forma considerable, haciendo más redituable la producción.

Además del aspecto económico, los sustratos tienen gran importancia en el funcionamiento del sistema hidropónico, debido a que por medio de estos se logra un mejor aprovechamiento de la solución nutritiva, asimismo se logra una aereación y sostén de las plantas.

Se entiende por sustrato, un medio sólido o líquido que tiene una doble función: la primera es anclar las raíces de las plantas protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración; la segunda es poner a disposición de éstas los nutrientes contenidos en la solución nutritiva. En estos principios se basan los sistemas hidropónicos de producción.

Con el presente trabajo se pretende mostrar algunos aspectos técnicos que sirvan como apoyo y difusión en el país de un mejor manejo y empleo de los sustratos de fácil adquisición, tanto autóctonos como introducidos, en base a las características y cualidades que presenten.

OBJETIVOS.

1. Estudiar 7 sustratos diferentes con el propósito de encontrar el más adecuado para la producción de jitomate en hidroponía bajo condiciones de invernadero.
2. Estudiar las propiedades físicas como: densidad aparente, densidad real y porosidad de los diferentes sustratos a utilizar.

HIPOTESIS.

1. La utilización de diferentes sustratos altera de alguna manera el desarrollo de las plantas de jitomate, así como su rendimiento y calidad.
2. Manejado adecuadamente el sistema de producción hidropónico, se puede obtener una producción superior al cultivo tradicional, con cualquiera de los sustratos.

I. REVISION DE LITERATURA.

A. Clasificación taxonómica del jitomate.

Valadez (1989), clasifica al jitomate de la siguiente manera:

Familia:	Solanaceae
Género:	Lycopersicum
Especie:	Lycopersicum esculentum
Nombre común:	Jitomate o tomate rojo

B. Origen e importancia.

La reoría más comunmente adoptada en lo referente al origen del jitomate, lo sitúa como nativo de Sudamérica, debido a que todas las especies silvestres relacionadas con él, son nativas de la región andina, que hoy comparten Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, de ahí se propagó hacia el norte, hasta Centroamérica, los Aztecas de México fueron quienes denominaron a esta planta tomatl y cultivaron variedades como el xitomatl.

El uso de esta especie data de muchos años, de acuerdo a Sturtevant (1919) y Mc. Cue (1952) citados por Homer (1957), se dice que fue utilizado por Matthiolus en Italia en 1544, también se conoció en Alemania, Francia y otros países europeos, se cree que el uso del jitomate como alimento se llevó a cabo primero en partes de Europa, Africa, América del Sur y Centroamérica, el Oeste de la India y posteriormente en los Estados Unidos de Norteamérica.

La primera referencia del uso del jitomate con propósitos culinarios en los Estados Unidos de Norteamérica fue hecha por Jefferson.

en 1781, pero éste se cultivó en forma comercial hasta 1835.

Actualmente el jitomate tiene una amplia distribución en el mundo entero, pudiendo cultivarse desde el nivel del mar hasta alturas de 1800 msnm, se cultiva bajo climas cálidos y templados.

En el norte de Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y en algunos países de Europa esta muy difundido el cultivo en invernaderos.

Entre los principales países productores se encuentran Los Estados Unidos de América, Italia, España, México, Ecuador y Perú.

Los países que presentan los más altos rendimientos son Los estados Unidos de América, Japón, Bulgaria y Canadá (FAO, 1980).

El jitomate es una hortaliza que se ha generalizado en su uso debido a su contenido vitamínico, así como por su agradable sabor y color.

Cuadro 1. Contenido nutricional en una libra de jitomate.

NUTRIENTE	CRUDO	EN LATA	JUGO	SALSA	SECO	PURE	SOPA
Calorias	81	86	93	446	1544	165	335
Proteínas (mg)	4	4.5	4.5	9.1	49	8.2	8.2
Hierro (mg)	2.4	2.7	1.8	3.6	29.5	0.5	3.2
Vitamina A (U.I)	4380	4770	4770	8540	16850	8540	4540
Vitamina B1 (mg)	0.22	0.25	0.23	0.41	2.96	0.40	0.09
Vitamina B2 (mg)	0.17	0.15	0.13	0.32	1.97	0.32	0.36
Vitamina C (mg)	93	75	72	51	518	126	32

Fuente: U.S.D.A. Handbook, 1955.

En nuestro país se consumen alrededor de 1 116 500 toneladas de jitomate fresco por año, y además 154 000 toneladas de jitomate procesado, esto da un promedio de 15 kg percapita (Denton 1989). Es una hortaliza muy importante en nuestro país, tanto por el volumen de producción, así como por la superficie destinada para su cultivo.

En el cuadro No. 2 podemos observar la tendencia de la producción durante el periodo comprendido de los años de 1980 a 1988.

Cuadro 2. Producción nacional, superficie cosechada y rendimiento de tomate rojo durante el periodo 1980-1988.

AÑO	SUPERFICIE COSECHADA. (ha)	RENDIMIENTO (ton/ha)	PRODUCCION (ton)
1980	69 472	19.010	1 320 628
1981	61 224	21.399	1 310 151
1982	63 108	23.085	1 456 851
1983	63 809	23.230	1 482 265
1984	72 521	23.275	1 687 946
1985	69 329	23.315	1 616 394
1986	55 470	26.206	1 453 623
1987	68 285	24.482	1 671 787
1988	71 616	27.649	1 980 113
PROMEDIO	66 092	23.517	1 553 306

Fuente: Dirección General de Política Sectorial, SPS y SARH.
Producción Agrícola Nacional de veinte y seis Cultivos.

En nuestro país, un gran número de estados cultivan jitomate, pero consideramos que son tres los principales estados productores: Sinaloa, B.C.N. y el Estado de S.L.P. en el cuadro siguiente podemos observar la producción obtenida en toneladas por los principales estados productores durante el periodo - de 1982 a 1987.

Cuadro 3. Producción Nacional, en toneladas, de Jitomate por estados. Periodo 1982-1987.

ESTADO	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Sinaloa	864455	846890	954241	763937	908796	942155
BCN	128032	109786	130643	157473	n.d.	173054
SLP	110913	106462	115276	156279	118078	103614
Morelos	49075	93166	93520	105876	85071	68923
Jalisco	12491	26603	40789	63902	69750	60303
Sonora	14740	45291	43737	21430	23097	47825
Michoacán	47629	41578	37224	37478	29657	46821
Hidalgo	11939	20338	40142	47118	41323	44617
Nayarit	10907	13877	30328	22578	34876	28070
Guanajuato	47917	33855	35162	34728	28469	26283
Subtotal	1298098	1337846	1521062	1410818	1339117	1541665
Total Nal.	1456851	1482265	1687946	1616394	1453623	1671787

n.d. Dato no disponible.

Fuente: Dirección General de Economía Agrícola-SARH.
Anuarios de Producción.

C. Descripción de la planta.

1. Raíz.

El sistema radicular presenta una raíz principal típica o pivote, de origen seminal y numerosas raíces secundarias y terciarias. La raíz pivotante crece 3 cm. al día, hasta que alcanza 60 cm. de profundidad, al mismo tiempo que producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una densa masa de considerable volumen, el sistema radical puede alcanzar hasta 15 mts. de profundidad, pero un 75% del mismo, se encuentra en los primeros 45 cm. del terreno. (Guenkov, 1973). Cuando la planta se propaga mediante trasplante, la raíz principal detiene su crecimiento debido a que se elimina el meristemo apical, de tal manera, que se favorece el crecimiento de raíces secundarias laterales, que principalmente se desenvuelven entre los 5 y 70 cm. de la capa del suelo. Las porciones del tallo y en particular, la basal, bajo condiciones adecuadas de humedad y textura del suelo, tienden a formar raíces adventicias (Garza 1984)

2. Tallos y hojas.

El tallo es epigeo, alcanzando una longitud de 0.4 a 2 metros, cuando el tallo es joven, tiene una forma cilíndrica y conforme se va desarrollando, se vuelve anguloso. Es de consistencia herbácea o algo leñosa, con pubescencia. A partir del tallo principal se general ramificaciones en las axilas de las hojas. Las variedades de jitomate se clasifican en determinadas e indeterminadas. Las primeras terminan sus ramificaciones

en inflorescencias limitándose en consecuencia el crecimiento vegetativo; en las segundas, también se forman racimos en las últimas hojas, sin embargo, se forma una nueva rama y en consecuencia el crecimiento vegetativo no se limita.

Las hojas son de limbo compuestos por 7, 8 o 9 folíolos con bordes dentados; el haz es de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia. En general la disposición de las hojas en el tallo es alterna.

3. Flores y frutos.

El jitomate es una planta hermafrodita, que presenta flores bisexuales, en forma de racimo simple (base de la planta) o ramificado (parte superior). Las flores aparecen unidas al eje principal o a las ramificaciones secundarias, originándose en las axilas de las hojas de estos; cada flor se compone de 6 sépalos y 6 pétalos, los que se unen entre sí y con los estambres, el ovario es supero y tiene de 2 a 10 carpelos y con un estigma corto, de manera que las anteras por ser alargadas, envuelven al estigma y al estilo.

La polinización es directa o autógena, en aproximadamente del 95 al 99%, la polinización cruzada va del 0.5 al 5% y se favorece principalmente por los insectos. El estigma es receptivo desde 1 a 2 días antes de que ocurra la dehiscencia y permanece así, hasta 8 días después de que ocurre la antesis, favoreciéndose la polinización mediante la caída directa de los granos de polen sobre el pistilo (Garza, 1984).

El fruto del jitomate se constituye por una baya lisa de forma deprimida, alargada y lobular, redondeada, periforme, de tamaño va-

riable; coloración (epicarpio mas mesocarpio) roja o rosa y en algunas ocasiones amarillo (Guenkov, 1973).

D. Requerimientos ambientales.

1. Temperatura.

La temperatura óptima para la germinación es de 18 a 20 °C (de - 6 a 8 días), en el día y de 15 °C en la noche; la mínima es de - 10 °C y la máxima de 35 °C (5 días) (Guenkov, 1973).

Colocando semillas húmedas a 4 °C durante un mes y posteriormente sembrándolas se pueden obtener plantas con flores a las 3 semanas la vernalización provoca la formación de flores en nudos más bajos.

2. Crecimiento.

La temperatura óptima para el crecimiento es de 22 ± 7 °C, una temperatura permanente menor de 15 °C detiene la floración y si la temperatura llega a 10 °C cesa el crecimiento. En caso de elevarse la temperatura a más de 35 °C, la fotosíntesis se demora, - por esto las plantas cultivadas a estas temperaturas forman hojas más pequeñas, los tallos son mas delgados y los racimos más pequeños. A temperaturas relativamente bajas el tallo es grueso y forma hojas más grandes (Bierhuizen, 1973).

La combinación excesiva de temperaturas altas con baja intensidad la planta presenta 18 hojas antes del primer racimo (Folquer, 1976)

3. Floración.

La temperatura óptima para la fase de floración oscila entre 22 y 25 °C en el día y de 13 a 17 °C en la noche (Guenkov, 1973)

Por otra parte temperaturas nocturnas de 25 °C y temperaturas diurnas de 35 °C producen alargamiento de estilos, adelgazamiento de

los pendúnculos y debilitamiento de las flores. En estas condiciones la formación de frutos disminuye a la mitad de los que se obtienen a los 18 y 22 °C de noche y día respectivamente.

Las temperaturas óptimas para la germinación del grano de polen y el crecimiento del tubo polínico son de 20 a 30 °C, arriba de 35 °C son desfavorables para la germinación del polen.

La producción de flor disminuye a temperaturas arriba de 27 °C, el desarrollo de los botones depende generalmente de la temperatura; temperaturas relativamente bajas, durante el desarrollo del racimo, ocasiona un aumento en la producción de flor (Aung, 1979). La abscisión de las flores a bajas temperaturas se debe a la falta de fecundación, ya que por debajo de los 13 °C, la mayoría de los granos de polen son estériles (Kingham, 1973).

4. Fructificación.

Cuatro son los procesos que deben ser completados para la formación del fruto, son los siguientes:

- a) Producción de polen viable en las anteras.
- b) La relación de las anteras con el estigma para efectuar la polinización.
- c) Germinación del grano de polen en el estigma.
- d) Desarrollo del tubo polínico en el estilo, resultando en la fertilización del ovario.

Temperaturas adversas por cualquier causa, pueden tener como resultado poco desarrollo del fruto, polen estéril a temperaturas abajo de 13 °C y arriba de 32 °C, aún siendo viable a estas tem-

se afecta la germinación y el desarrollo del tubo polínico en el estilo. Los investigadores han indicado que el rango óptimo de temperaturas nocturnas, para una alta fructificación es de 18 a 20 °C (Kingham, 1973)

El factor crítico del cuajado del fruto son las temperaturas nocturnas y el rango óptimo es de 15 a 20 °C, (Went, 1973). Existe poco cuajado del fruto con temperaturas relativamente altas, cuando la temperatura del día esta cerca de 32 °C y mínima nocturnas de 21 °C, el cuajado del fruto es seco. Rangos entre 30 y 45 °C causan una marcada reducción del cuajado del fruto, sin embargo no se observan alteraciones visibles en el desarrollo vegetativo. Cuando una alta intensidad luminosa es acompañada por una temperatura alta, provoca un mal cuajado del fruto. Sin embargo cuando las temperaturas son altas y se reduce la intensidad de luz con sombreado se incrementa significativamente el cuajado del fruto. Algunos desórdenes en la fructificación, mencionados por Kingham en 1973, son los siguientes:

a) Cuando permanece pequeño el fruto encerrado en los sépalos de la flor, se denomina como "cuajado seco". Esto ocurre más en las primeras inflorescencias, probablemente se deba a la ausencia de polen viable, cuando el desarrollo vegetativo es rápidamente y especialmente cuando las condiciones de luz son pobres. Ocasionalmente las flores "cuajan secas" durante toda la vida de la planta, siendo éste marcadamente en tiempo cálido y condiciones secas, puede deberse a fallas en polinización por el alargamiento del estilo, esto puede ser reducido con el movimiento de las flores utilizando vibradores o sacudiendo las plantas.

b) El fruto se desarrolla con poca semilla y tiene un tamaño arriba de 30 mm de diámetro al madurar, esto ocurre comúnmente en las primeras inflorescencias y generalmente refleja condiciones inadecuadas en la germinación y desarrollo del polen. Esto generalmente se presenta con temperaturas inferiores a los 15.5 °C, es muy evidente en el vigor de la planta y comúnmente ocurre en plantaciones tardías, esto es más notorio en algunas variedades.

c) Cuando los pedúnculos de las flores se tornan amarillentos y los sépalos y pétalos caen, esto ocurre con temperaturas altas y severo estrés de humedad, presentándose más en plantaciones maduras, también puede ser resultado de humedad excesiva y enfermedades en la raíz, esto se evita manteniendo sana y ventilando adecuadamente a la raíz.

Cuadro 4. Temperaturas óptimas para el desarrollo del jitomate.

ESTADO DE DESARROLLO	TEMPERATURA OPTIMA (°C)
Germinación	26 - 30
Expansión del cotiledón	16 - 20
Alargamiento apical en plántula	15
Crecimiento de la plántula	25 - 26
Elongación del tallo	27-30 diurna, 17-20 nocturna
Crecimiento del brote axilar	26-35 diurna, 18-22 nocturna
Crecimiento de la raíz:	
a) Plántula intacta	26 - 32
b) Plantas viejas	27 diurna, 13 - 22 nocturna
c) Cultivo invitro	20 - 30
Iniciación de la hoja	25
Reducción de entrenudos	10 - 14*
Formación de la flor	13 - 14*
Antesis	13 - 14
Formación de polen	22 - 26
Germinación del polen	22 - 27
Crecimiento del tubo polínico	22 - 27
Amarre del fruto	
a) Planta intacta	18 - 20
b) invitro	20 - 22
Maduración del fruto	24 - 28

*Baja temperatura en plántulas por una duración corta de 2 semanas o menos, seguida por un crecimiento a más altas temperaturas.

Fuente: L.H. Aung 1979, Proceeding the 1st. International Symposium on Tropical Tomato 1978. Taiwan, Republic of China.

2. luz.

Son plantas exigentes en intensidad de luz, la planta que se establece en época o condiciones de baja intensidad prolonga significativamente el ciclo vegetativo (Shomosh, 1958). Cuando el jitomate es expuesto a muchos días nublados y temperaturas bajas, el fruto es hueco o esponjoso (Cáseres, 1971).

La planta se adapta a invernaderos y cultivo en ambiente controlado, la saturación de luz de las hojas es a baja intensidad.

Es considerado fotoperiódicamente indiferente con respecto a la floración y es un ejemplo de una planta de día neutral.

Sin embargo Saito et al. (citado por Wittwer y Aung, 1969), notó buen desarrollo vegetativo y temprana diferenciación de yemas florales y un incremento en el número de flores con fotoperíodo arriba de 16 horas, concluyendo que es más favorable para el desarrollo y formación de flores en el jitomate.

Witter (1963), citado por Aung (1969), observó diferentes variedades de jitomate en fotoperiodos de 9 horas, se redujo el número de nudos formados antes de la primera inflorescencia y el tiempo a la primera antésis, él concluyó que el jitomate es una planta facultativa de día corto.

3. Edáficos.

Las características propicias para el desarrollo del jitomate son las siguientes:

Textura del suelo ligera, estructura granular, buen drenaje con buena capacidad de retención de humedad.

Existe un buen desarrollo radical con temperatura del suelo entre los rangos de 26 a 32° C diurna y con 12 a 13° C nocturnas, (Aung, 1978).

Por otro lado, manteniendo la temperatura del sustrato a 24° C durante la noche y la del aire nocturno permanece en 9° C puede aumentarse el desarrollo y productividad del jitomate, (Goselin y Trudel, 1984).

4. Hídricos.

La planta de jitomate en función de su sistema radical y foliar se le califica como una especie que absorbe agua con facilidad y la gasta económicamente, (Petrov, 1953, citado por Guenkov, 1973).

Durante el período de crecimiento hasta la maduración de los primeros frutos, la exigencia de humedad no sobrepasan al 60% de la capacidad de campo. Durante el período reproductivo la planta es mas exigente en humedad del suelo, esta debe estar presente entre el 60% y 80% de capacidad de campo, simultáneamente es importante la presencia de humedad ambiental de 50-60% días calurosos y noches frescas (Guenkov, 1973).

Por medio de un lisímetro se determinaron los requerimientos de agua para el jitomate, para ello el desarrollo del cultivo fue dividido en 4 fases; la fase foliar, inicio de floración (1-4 racimos), fin de floración (5-8 racimos), y maduración. El requerimiento de agua se incremento en las 3 primeras fases, esta fue de

380 a 2 130 ml/día/planta, durante la maduración del fruto la - evatranspiración fue de 1977ml/día/planta, posiblemente esto se deba a la presencia de hojas viejas y el mismo efecto de som-- breado, (Hesse,1985).

E. Generalidades de la hidroponia.

1. Definición.

De acuerdo con Sánchez y Escalante (1981) se define a la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como un sustrato un material inerte o simplemente la misma solución.

2. Ventajas de la hidroponia.

La hidroponia considerada como un sistema de producción agrícola, presenta un gran número de ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como del económico con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelos; entre las -- que más sobresalen se puede mencionar las siguientes:

- a) Existe un balance ideal de aire, agua y nutrimentos.
- Humedad uniforme.
- Aereación adecuada.
- Excelente drenaje.
- Nutrimentos disponibles en cantidad y forma iónica requerida por las plantas.
- Nutrición balanceada en cualquier momento.

- b. Perfecto control del pH.
- c. Permite una mayor densidad de población (10-30%)
- d. Mayores rendimientos por unida de superficie.

Cuadro 4. Rendimientos en sistemas hidropónicos y tradicionales.

CULTIVO	SUELO (ton/ha/cosecha)	HIDROPONIA
Jitomate	30-40	100-200
Pepino	10-30	100-200
Papa	20-40	120
Chile	20-30	60-80

Fuente: Sánchez y Escalante.
Hidroponía. Principios y Métodos de Cultivo 1983.

- e. Mayor calidad del producto.
- f. Mayor precocidad en los cultivos.
 - De 10 a 60 días antes que la producción en suelo.
- g. Se puede cultivar periódicamente la misma especie vegetal.
- h. Menor intervalo de tiempo entre cosecha y establecimiento de un nuevo cultivo.
 - Mayor productividad / m²
 - Menores costos fijos.
- i. Mayor uniformidad en los cultivos.
- j. Ahorro en el consumo de agua.
 - Aproximadamente 20 veces menor cantidad de agua en relación con el cultivo en suelo.
- k. Disminución en el suelo de agroquímicos y por lo tanto en la contaminación ambiental.

- Insecticidas.
- Fungicidas.
- Herbicidas.

- 1) Reducción en la cantidad de fertilizantes utilizados.
- 11) No se requiere de maquinaria agrícola.
- m) Es posible utilizar agua con un elevado contenido de sa
les.
- n) Mayor limpieza e higiene en los productos obtenidos.
- o) Posibilidad de utilizar materiales de desecho o nativos
como sustratos.

3. Desventajas de la hidroponia.

Después de señalar varias de las múltiples ventajas que presenta la hidroponia sobre los sistemas de cultivo en suelo, es lógico que surja la siguiente pregunta ¿Por qué siendo la hidroponia -- tan ventajosa no ha alcanzado una popularidad más amplia? Esta interrogante se resuelve si se consideran los siguientes argumentos que enseguida se enumeran como desventajas del sistema hidropónico:

a) Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimientos técnicos sobre los principios básicos de fisiología vegetal y química inorgánica.

b) A nivel comercial el gasto inicial es relativamente alto.

- Construcción de bancales y depósitos.
- Adquisición de sustratos, bombas y tuberías.
- Esta limitado al cultivo de algunas especies, con --
precio alto en el mercado.
- Construcción de invernaderos.

- c) Se requiere cuidado con los detalles.
 - Pendiente adecuada a las camas.
 - Mezclar correctamente las sales en la solución.
 - No usar tuberías o depósitos galvanizados.
 - Mantener el pH adecuado de la solución.
 - Análisis del agua a utilizar.
- d) Se requiere de un abastecimiento continuo de agua.

F. Estructura de un sistema hidropónico.

Los componentes principales de un sistema de cultivo hidropónico son los siguientes:

1. Contenedores.

- a) Se definen como recipientes de distinto tamaño, forma y material, cuya función es mantener el sustrato en el cual se cultivan las plantas.
- b) Características de los contenedores.
 - Tener un tamaño suficiente, acorde a la especie a -- cultivar.
 - Permitir un adecuado drenaje y oxigenación.
 - Impermeable: Para evitar la pérdida de solución por infiltración.
 - Económico.
 - Durable.
 - Resistente a la acción del sol, agua y sales.
 - Ser químicamente inerte.
 - Libre de plagas y enfermedades.
 - Opaco, para evitar el crecimiento de algas.

c) Función de los contenedores.

- Brindar protección al sistema radical.
- Evitar la contaminación de la raíz con patógenos del suelo.
- Mejor control de la nutrición mineral de la planta.
- Uso eficiente de la solución.
- Control eficiente de maleza.

d) Principales contenedores.

En los cultivos hidropónicos destacan los siguientes:

- Bancadas, canaletas, bolsas individuales, tubulares, horizontales, columnas verticales y doble maceta entre otros. Construidos de diversos materiales como son: concretos, pvc, asbesto, madera, lámina, plástico, etc.

2. Solución nutritiva.

Las principales cualidades de la solución nutritiva utilizada en un sistema hidropónico son las siguientes:

- La nutrición de las plantas se obtiene de una solución.
- Constituye el fundamento de la hidroponia.
- Provee de agua, nutrimentos y oxígeno a las plantas.
- Nutrimentos disueltos en agua, en forma libre y activa.
- Se requieren sales altamente solubles.
- Solubilidad es la medida de la concentración de las sales -- que permanecen en solución al disolverse en agua.
- Los nutrimentos se agregan en una relación mutua y en una -- concentración total expresada en términos de presión osmótica

apropiada para la nutrición de la planta.

- No existe capacidad buffer con respecto al PH como en el suelo
- Su vida útil depende del porcentaje de acumulación de iones - extraños; no utilizados por la planta en forma inmediata.
- Se concentra lentamente como consecuencia de la evaporación y la transpiración de la planta.
- Disponibilidad de fertilizantes en el mercado, facilidad de - almacenamiento costo.
- Reduce el esfuerzo del sistema radical al mínimo.
- Mayor economía de la energía utilizada en su desarrollo.
- Los nutrimentos estan uniformemente repartidos en el medio, las plantas no necesitan formar nuevas raíces, no es necesario -- buscar los nutrimentos, estos vienen a ellas.
- Los cultivos disponen de relativamente más productos asimilables para las partes verdes, con lo cual obtenemos una mayor y más temprana producción.
- El éxito de los cultivos hidropónicos, depende de la composición de la solución.

3. Las plántulas en los sistemas hidropónicos pueden ser de:

a) Siembra directa en donde se debe considerar lo siguiente:

- Tipo de sustrato.
- Profundidad de siembra.
- Frecuencia de riego.
- Control de temperatura.
- Control de humedad relativa.

b) Siembra indirecta en donde se debe considerar lo siguiente:

- Preparación de semillero.
- Tipo de contenedor.
- Selección del sustrato.
- Desinfección.
- Control de la humedad.
- Control de temperatura.

Para ambos tipos de siembra las características de la plántula deben ser:

- Buen vigor.
- Sanidad.
- Buen desarrollo radicular.
- Homogéneas.
- Altura entre 12 y 18 cm.
- Presentar 2 pares de hojas verdaderas.

Al transplantar se debe considera lo siguiente:

- Con cepellón y/o raíz desnuda.
- Desinfectar con fungicida, el sistema radical.
- Puede podarse la raíz si es necesario.
- Tener cuidado al transplantar, de colocar la raíz lo más recto posible.
- Realizarlo en días nublados, o de preferencia por la tarde.
- En bancales, se realiza estando estos inundados, y se les deja así por 12 horas.
- En macetas debe regarse inmediatamente después.

4. Sustratos.

Se entiende por sustrato un medio sólido líquido que tiene una doble función; la primera es anclar y aferrar a las raíces, protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda contener los nutrientes que las plantas necesitan o en el que se detienen a intervalos los nutrientes que forman la solución nutritiva.

Cada sustrato necesita un manejo adecuado, lo que ha propiciado que existan diferentes métodos de cultivo hidropónico, Sánchez y Escalante (1981) la clasificaron de la siguiente manera:

a) Cultivo en solución nutritiva.

Las plantas se desarrollan solo en el agua con los nutrientes, - proporcionándoles aereación por medio de una bomba o dejando un espacio entre el sosten permitiendo así que las raíces superficiales queden suspendidas en el aire, en si este sistema no utiliza sustrato y también se le conoce como acuacultura.

b) Cultivo en agregado.

Comprende todos aquellos métodos donde se utilizan sustratos - con partículas pequeñas, menores o iguales a 3mm. absorbentes y ligeras, tales como arena, agrolita o perlita, vermiculita, - arena de tezontle, aserrín, corteza de árbol o cualquier material orgánico de difícil descomposición, en este sistema existe una mayor absorción de agua por lo que los riesgos son menos - frecuentes.

c) Cultivo en grava.

Esta categoría comprende sustratos que tienen gránulos con más de 3mm. de diametro como basalto, granito, tezontle, piedra

pómez, pedazos de ladrillo, carbon, poliestireno, poliuretano, cascarilla de arroz, etc.

d) Otros.

Existen otros métodos como aeroponía, película nutritiva, etc.

G. Antecedentes de los sustratos de hidroponía.

Los primeros sustratos utilizados en cultivos hidropónicos fueron los sustratos líquidos, uno de los primeros investigadores en utilizar estos sustratos fue J. Woodward quien en 1699 logró hacer crecer hierbabuena en un sustrato líquido y afirmaba que la tierra y no el agua suministraba los nutrimentos a la planta.

Du Hamel (1758) inició cultivos utilizando sustratos artificiales como viruta de madera, arena, polvo de ladrillo, feldespatos y turbu, mencionando que las plantas no solo toman agua, sino otros elementos disueltos en ella.

El químico francés Jean Boussignault (1851 a 1856) trabajó con sustratos, llamados en sus tiempos "tierras artificiales insolubles" (arena, cuarzo, carbonilla). El cultivo de plantas en arena y carbón a los cuales agregó soluciones químicas de composición conocida, afirmando que el agua es esencial en el crecimiento de las plantas, debido a que aporta hidrógeno y oxígeno. Este método fue más tarde mejorado por Salm Horstman (1856) quien desarrolló técnicas usando arena y otros medios inertes.

J.V. Sachs (1861-1865) demuestra que la fase sólida del suelo no es necesaria para la nutrición de las plantas.

W.R. Robbins (1928) realizó diferentes ensayos con cultivos en arena a escala comercial, en la estación experimental de Nueva Jersey.

N.F. Gericke (1936) en la estación experimental de Nueva Jersey desarrolla el cultivo en grava.

Las Fuerzas Aliadas (1940) crean instalaciones hidropónicas de 31 hectáreas de superficie en la Isla Chofu en Japón para abastecer de hortalizas frescas a los soldados, utilizando gravas - como sustratos.

Penningsfeld y Steiner (1945) desarrollan la técnica de cultivo en turba vegetal.

A. Cooper (1960-65) sus investigaciones inician la "técnica de la película nutritiva".

Investigadores daneses (1970-75) crean la técnica del Rockwool (lana mineral).

En 1978 se modifica la "técnica de la película nutritiva" a la "técnica de flujo de nutrientes".

La técnica del Rockwool de 1980-1990 se difunde en Holanda, Inglaterra, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania y Australia.

En 1990 en el "Instituto de Física y Química Orgánica de Bielorusia" crean un polímero en forma de arroz capaz de absorber -- 700 veces su peso en agua.

Investigadores suecos en 1992 crean un material cerámico que ce de al cultivo hidropónico, solo los nutrientes y el agua requeridos por las plantas.

En la actualidad uno de los principales temas de trabajo en la investigación en hidroponía ha sido el estudio de los medios o sustratos adecuados que permitan un buen crecimiento y desarrollo de las plantas, por esta razón se han realizado una gran

cantidad de estudios sobre medios naturales como artificiales e incluso se han concentrado en la literatura resultados contradictorios con respecto a los mismos materiales por eso es de suma importancia poner atención en ellos cuando se va a trabajar a nivel comercial o experimental.

H. Propiedades de los sustratos

1. Físicas.

a) Porosidad.

En hidroponia se consideran aptos como sustratos a aquellos materiales que a causa de su granulometría y estabilidad estructural ofrecen la posibilidad de una aereación elevada. Se debe procurar en la zona de las raíces una proporción del 30% de material sólido y un 70% de espacio poroso, el cual debe ser ocupado a partes iguales por aire y agua.

Por lo que es necesario tener un manejo adecuado de los sustratos para evitar problemas, de tal manera que mientras más elevada es la capacidad de retención del agua, menos frecuentes deben ser los riegos, así se evita el desplazamiento del aire de los macroporos.

Se puede obtener una porosidad óptima mezclando de forma apropiada materiales compactos con otros porosos y de gránulos grandes, también se pueden obtener buenos resultados utilizando materiales orgánicos como turba o musgo, los cuales poseen una estructura esponjosa y mejoran la cantidad de aire y agua en los espacios porosos.

b) Retención de humedad.

Una de las propiedades físicas que debe de tomarse en cuenta -- son la retención de humedad del sustrato, la cual esta íntimamente relacionada con el tamaño de las partículas, de la forma de las mismas y de la porosidad del sustrato, el agua se retiene en la superficie de las partículas y también en el espacio formado por los poros, mientras más pequeñas sean las partículas estarán más cerca una de otras por lo que será mayor el espacio de poros y su superficie, permitiendo una mayor cantidad de -- agua almacenada, pero hay que considerar que los materiales muy finos retienen excesivamente el agua desplazando el aire existente en los poros y que en consecuencia la planta puede sufrir por la falta de oxígeno en la raíz (Resh 1981).

En sustrato óptimo debe tener de 10-30% de material sólido, retener de 40-50% de agua con un 30-40% de espacio lleno de aire. Schwarz (1989) menciona que las plantas cultivadas sin suelo, donde se proporcionan todos los requerimientos de agua y nutrientes no desarrollan pelos radicales. Esto es particularmente en métodos de cultivo en agua, en arena y grava bien manejados, de tal manera que al estar el agua fácilmente disponible, la planta no tiene necesidad de elongar las células de los pelos radicales teniendo mayor energía para el desarrollo de la parte aérea. Menciona que la razón normal entre parte aérea-raíz es de 2:1 o 3:1 en condiciones de suelo, mientras que en -- cultivo sin suelo es de 10:1.

c) Duración

Para utilizar un material como sustrato debemos de tomar en -

cuenta que los materiales más adecuados son aquellos que no se disgregan fácilmente con la acción del agua, debido a que la estructura es la que determina si se han de mantener con el tiempo una porosidad correcta.

A medida que aumenta el grado de descomposición del material, - aumenta la densidad aparente y por lo tanto el porcentaje de poros, por lo que debemos utilizar sustratos que tarda un tiempo considerable de descomposición para evitar problemas de aereación.

d) Granulometría.

Es un factor que oscilando dentro de límites normales de 5 a -- 10 mm de diámetro para los sustratos porosos y de 3 a 5 mm de diámetro, para los compactos, no proporcionan ningún problema, no obstante resulta peligroso el uso de sustratos no homogéneos en especial cuando existen cantidades considerables de materiales finos.

e) Otras propiedades físicas.

Además de la disponibilidad de agua para las plantas y una buena aereación en la zona de las raíces, es deseable que el sustrato son de peso ligero, para facilitar su manejo y que no presente aristas agudas que pueden danar las raíces.

2. Químicas.

El sustrato debe ser químicamente inactivo, o sea ni absorber, ni suministrar ningún elemento, puesto que esto representa una alteración en la solución nutritiva.

a) Cesión de iones a la solución nutritiva.

Se considera que prácticamente todos los sustratos ceden iones a la solución nutritiva, ya sea por tratarse de materiales con unas propiedades acusadas de intercambio cationico, como por di solución o alteración de los minerales componentes del sustrato al entrar en contacto con la solución nutritiva.

Normalmente la cesión de iones que tiene un mayor efecto sobre la rentabilidad de los cultivos es la referida a los micronu--
trientes, ya que son los que presentan límites más estrechos en
tre toxicidades y deficiencias, siendo pequeña la diferencia -
entre ambos puntos (Hanan 1969). Cuando la capacidad de cesión
de un sustrato supere el valor considerado como óptimo, para
un determinado micronutriente se considera que se esta en un -
punto peligroso, ya que esta cesión hay que sumarle las impure
zas de los abonos empleados en la fabricación de la solución -
nutritiva y si bien puede ser que el valor no sea lo suficien-
temente alto para presentar síntomas visuales, si puede estar
causando un efecto depresivo sobre la producción.

b) Retención de iones.

Todos los materiales usados como sustrato en la hidroponia pre
sentan alguna retención de iones (Hanan 1969).

En primer lugar se refiere a los micronutrientes, en este caso
el problema es menos acentuado que en el caso de la cesión, ya
que además de poder aumentar el contenido de los mismos en la
solución nutritiva, es posible la aplicación periódica de pulve
rizaciones foliares asociándolos a los tratamientos fungicidas

y con los adherentes necesarios. La deficiencia mas frecuente es la de hierro, debido mas que al sustrato, a la precipitación con los fosfatos al elevarse el pH de la solución. Se usan varios métodos para corregir esta deficiencia, desde la utilización de quelatos que admiten pH elevados, hasta la aplicación al sustrato de limaduras de hierro, puesto que van cediendo cantidades considerables del mismo.

Respecto a los macronutrientes la retención esta causada por diferentes factores:

1. Capacidad de cambio cationico, se presenta en los materiales de naturaleza arcillosa, afecta principalmente a los cationes K, Ca y Mg, en las primeras fases del cultivo, hasta llegar al equilibrio entre solución y el complejo de cambio y aunque los cationes quedan retenidos, pueden ser utilizados por las plantas (Hanan, 1969)

2. Contenido de materia orgánica.

A medida que se va utilizando un sustrato se va produciendo una - acumulación de materia orgánica en las camas de cultivo, resultante de los restos de raíces; los efectos de esta acumulación, se manifiestan sobre la solución nutritiva con la formación de complejos organominerales insolubles con los iones Fe, Al y fosfatos principalmente, pueden causar estados deficitarios a las plantas; posteriormente al disociarse estos complejos por descomposición de la materia orgánica, los iones vuelven a quedar en libertad, pudiendo causar efectos tóxicos.

3. Contenido de calcio.

El contenido de calcio del sustrato afecta directamente la concen-

tración de fósforo en la solución nutritiva, ya que se puede producir una precipitación en forma de fosfato cálcico insoluble que evoluciona a la formación de un fosfato tricálcico que se sitúa - alrededor de las partículas, Penningfeld y Kurzman (1975) consideran como inutilizables aquellos sustratos que contengan más de un 20 % de carbonato de calcio, no obstante Schwarz y Vaadia (1969) han obtenido resultados satisfactorios con grava caliza, al añadir directamente a la solución nutritiva cantidades suficientes de - fósforo para evitar la deficiencia.

Como se aprecia en cada caso particular es necesario conocer las propiedades químicas del sustrato y su actividad sobre la solución nutritiva, de esta manera se acoplan al suministro de agua, oxígeno e iones de la planta. Esto permite la utilización del sustrato autóctono de cada región, que es por lo general el de más bajo costo de obtención.

3. Características Biológicas.

Los materiales más adecuados, son los que presentan características biológicas inertes, materiales de fácil y económica esterilización, para evitar plagas y enfermedades durante la producción.

4. Características económicas.

El material que se considera más adecuado para un sistema hidropónico es el que presenta el menor costo de obtención, por lo general es el material nativo de la zona, para no elevar los costos de instalación, se recomienda este material, pero debe darse el manejo acorde al tipo de características que presente dicho material.

El siguiente cuadro presenta un resumen de las características de seables en los sustratos para los cultivos hidropónicos.

Cuadro 6. Características óptimas de los sustratos.

A. FISICAS.

- 1) Buena retención de humedad. Por lo que se debe de considerar:
 - Forma de las partículas.
 - Granulometría.
 - Porosidad
- 2) Capilaridad.
- 3) Excelente drenaje.
- 4) Proporcionar excelente aereación al sistema radical.
- 5) Buena estabilidad estructural.
- 6) Durable.
- 7) De peso ligero.
- 8) No presentar aristas agudas.

B. QUIMICAS.

- 1) Químicamente inerte (que no reaccione con la solución)

C. BIOLÓGICAS.

- 1) Biológicamente inerte.
- 2) Fácil de esterilizar.
- 3) Libre de plagas y enfermedades.

D. ECONOMICAS.

- 1) Disponible en la zona.
2. Bajo costo.

Fuente: Apuntes del Taller de Hidroponia.
Cuautitlán, 1994.

I. Sustratos utilizados para la producción de jitomate.

Las características de los sustratos mas comunmente utilizados en la producción de jitomate, bajo sistemas hidropónicos, son las - que a continuación se presentan:

1. Turba.

El primer sustrato empleado para el cultivo del jitomate fue la turba. Tiene un color pardo oscuro, con estructura esponjosa o - fibrosa; se forma por la descomposición del musgo y otras plantas que perecen por falta de oxígeno y se van depositando en el fondo de los pantanos, equivale a la primera etapa en la formación del carbón. En general es un material con una alta capacidad de absorción de agua, con una densidad muy baja es decir presenta excelentes propiedades físicas para utilizarse como sustrato.

Debido a sus propiedades físicas y químicas, no es recomendable - aplicar la solución nutritiva por la parte superior del sustrato puesto que puede descomponerse poco a poco. Esto impide la utilización de los sistemas más frecuentes de aplicación de la solución, sin embargo se han utilizado sistemas de subirrigación, empleando como contenedores bolsas de polietileno, ahorrando considerablemente agua y logrando mejores cosechas (Baever, 1984)

En México su empleo es poco costeable, ya que generalmente se debe de importar.

2. Agrolita o Perlita.

Uno de los constituyentes de la agrolita es aluminio-silicato que tratado a altas temperaturas (aproximadamente 1000 °C) se vuelve muy ligero y es un material muy poroso (porosidad mas de 90 %)

es utilizado generalmente como medio de cultivo en los invernaderos (Chen, Banin y Atman, 1980).

La agrolita o perlita tiene un color blanco o grisáceo, baja densidad, estéril y con excelentes propiedades de retención de agua, a la vez que buena aereación, su diámetro va de 1 a 3 mm y su pH es neutro (Sánchez y Escalante, 1981).

Desde hace aproximadamente 23 años, comenzó a utilizarse la agrolita como sustrato para cultivar jitomate, ya que es un medio ideal para la raíz y permite obtener una buena producción, pero resulta costosa en sistemas comerciales, por lo que sólo se emplea en tratamientos experimentales (Wilson, 1980).

Se han llegado a obtener en Polonia 11.42 kg/m² de jitomate en primavera y 6.82 kg/m² en otoño, utilizando agrolita como sustrato en sistemas hidropónicos (Dobrzanka, 1979).

3. Aserrín.

Se ha demostrado que el jitomate prospera bien en un medio hidropónico compuesto completamente de aserrín, siempre y cuando se proporcionen las cantidades de nutrientes necesarios para su desarrollo. (Adamson y Mass, 1969). El aserrín comenzó a utilizarse como medio de cultivo en explotaciones comerciales en la región costera de Columbia Británica, debido a su bajo costo, ligereza y disponibilidad. Un aserrín moderadamente fino, mezclado con buenas proporciones de virutas planas, suele ser más adecuado, ya que la humedad se distribuye mejor, en forma lateral (Resh, 1981).

Jaimes (1985) sugirió mezclar 65 % de aserrín fino con 35 % de aserrín grueso. Por otra parte también se recomienda que debe compostarse el aserrín, debido a que puede presentarse deficiencias de nitrógeno en las plantas, ya que los microorganismos presentes en el aserrín de pino no tienen sustancias nutritivas para su actividad microbiana y descomponer el aserrín. Además encuentro que el aserrín de pino no tiene sustancias tóxicas para las plantas. Por último recomienda para experimentos posteriores realizar mezclas con otros materiales.

Otros tipos de aserrín empleados en hidroponía han sido los de abeto Douglas (*Pseudotsuga mezesni* (Mirb) Franco) y de Tsuga (*Tsuga heterophylla* (Raf) Lag) mientras que se encontró que el aserrín de Tuja roja (*Thuja plicata* D) es tóxica (Mass y Adamson, citados por Jaimes, 1985)

Por otra parte, incorporando un inhibidor de la desnitrificación (50 ppm de nitrapyrin) al aserrín y corteza, se incrementa el peso de la planta y la razón nitrato:amonio asociado con un incremento en el nitrógeno aprovechable en el medio (Mills y Pokorny, 1978)

4. Corteza.

La corteza de pino es capaz de mantener a la planta sin marchitarse por un lapso de 10.4 días, debido a que pierde menos agua por evaporación y por que el agua retenida es fácilmente accesible a las plantas (Baerdsell, citado por Jaimes, 1985)

En experimentos con corteza de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*, tiene buenos resultados empleando un sistema de riego con microtubos y como contenedores bolsas de polietileno (Harris y Marce, 1984).

Utilizando corteza de Posidonia oceánica se presentan problemas por exceso de boro, que generalmente se presenta como necrosis en los márgenes de las hojas (Verlat, 1984).

Este material es necesario compostarlo según varios autores y se menciona que existen problemas de salinidad en el primer cultivo (Mabesa y Quisumbing, 1976).

5. Arenas.

Se considera arena a las partículas que tienen de 0.05 a 1 mm de diámetro, pero para fines de cultivo hidropónico, se considera arena a todo material inorgánico natural cuyo diámetro quede comprendido entre 0.2 - 3 mm (Sánchez y Escalante, 1981).

De las diversas arenas existentes, la de cuarzo es la más adecuada como sustrato para los cultivos hidropónicos, no obstante su costo suele ser elevado y por tanto se utiliza normalmente solo para ensayos. La arena corriente de río es utilizable cuando su contenido en cal es inferior al 20 % (Penningsfelt y Kurzmann, 1975). Si no se encuentra mas que con arena caliza y si el material calcáreo no excede el 50 %, sólo se puede utilizar lavándola con una solución concentrada de superfosfato (200 ppm) (Sánchez y Escalante, 1981). Sin embargo en Inglaterra han encontrado que es mejor utilizar arena calcárea y bajar el suministro de calcio disponible, así como el pH mediante un tratamiento adecuado con fosfato (Richmond, 1969).

6. Material volcánico.

Los materiales volcánicos se pueden clasificar como sustratos naturales, porosos con capacidad de intercambio de iones. Generalmente

son materiales de feldespatos y silicato de aluminio (Blesa y - Luque, 1972). Algunos materiales fijan amonio (NH_4), pero liberan nitrato (NO_3) en la solución nutritiva. Además los materiales retienen H_2PO_4 , K, Ca, Mg y Na. (Luque, 1981).

a. Tezontle rojo.

Es una roca volcánica ígnea de estructura vesicular, son rocas que se forman del magma, expulsadas por erupción y presentan burbujas atrapadas (consideradas como espuma de la lava). El color rojizo se debe al grado de oxidación que presentan (Huang, 1968) En México, se puede encontrar en las zonas del eje neovolcánico, en la región de los tuxtlas en Veracruz, este presenta una mayor capacidad de retención de agua que el tezontle negro y su densidad aparente es de 0.4 g/cm^3 (Baca 1983).

Las evidencias experimentales indican que empleando el tezontle rojo, se requiere una concentración menor de potasio en la solución nutritiva, esto ocasiona una alteración en el pH, con lo que el empleo de este sustrato, puede requerir un control mayor de la solución nutritiva.

El tezontle rojo se consigue con facilidad y su costo es bajo, pero presenta una granulometría muy irregular, por lo que para su empleo en hidroponía, es necesario triturarlo y cribarlo, lo que incrementa los costos.

b. Tezontle negro.

Es una roca volcánica ígnea basáltica de estructura vesicular y composición basáltica (Huang, 1968). Presentan un color oscuro y

también reciben el nombre de escorias volcánicas (lava basáltica) su grado de oxidación, es mucho menor que el tezontle rojo y se localiza también en la zona del eje neovolcánico, en la región de los Tuxtlas, Veracruz. Su densidad aparente es de 1.1 g/cm^3 , por lo que es menos poroso que el tezontle rojo y su capacidad de retención de agua es menor (Baca, 1983).

Debido a su color negro absorbe más calor durante el día, esto hace que eventualmente sea necesario contar con un sistema de protección que atenué la radiación solar (sombreo).

En los diversos experimentos realizados por Huang (1968) y Baca (1983) observaron que el mejor manejo de la solución nutritiva, es cuando se usa el tezontle negro como sustrato, que cuando se usa el tezontle rojo. Esto es debido a la menor relación iónica que se puede establecer en la solución nutritiva.

Su dureza y consistencia lo hace resistente a los procesos de interperismo.

Debido a su uso generalizado en la construcción de carreteras, se le consigue fácilmente y en tamaño uniforme, el material es conocido en las minas de donde se extrae como sello 3-A.

Para el empleo del tezontle como sustrato se debe uniformizar su tamaño en partículas de 3.0 a 20 mm de diámetro. En el caso del tezontle negro, el tamaño del sello 3-A queda dentro de los límites requeridos (7.0 - 20.0 mm) (Baca, 1983).

Penningsfeld y Kurzman (1975) indican que el tezontle presenta características físicas buenas, con un volumen de los poros que

ocupa aproximadamente un 85 % del total.

Otra característica que presentan regularmente los tezontles es el poder de absorción de cationes o aniones o ambos.

7. Vermiculita.

Se trata de un silicato de aluminio, con una estructura de una mica, que contiene magnesio e hierro, se encuentra principalmente en Africa y E.U.A. (Bentley, 1955) y en algunas partes de México (Sánchez y Escalante, 1981).

Es un material constituido por estratos paralelos, que pueden encerrar agua o aire. En su proceso de fabricación se somete a una temperatura de 1000 °C expandiéndose por el vapor de agua, alcanzando de 6 a 12 veces su volumen original. Tiene un color dorado, es estéril, ligero y una alta retención (4 veces su peso en agua), y excelente aereación. Es un material aislante que se mantiene caliente en invierno y fresco en verano. Pero a causa de su estructura estratificada, la vermiculita es muy sensible a la acción mecánica y se disgrega con facilidad, convirtiéndose en laminillas o polvo, por este motivo, a pesar de los buenos resultados que ofrece, solo puede ser recomendada en caso de poder obtenerse a bajo precio, para que pueda renovarse con frecuencia (Penningsfeld y Kurzmann, 1981), en nuestro país, es un material con precio elevado (Sánchez y Escalante, 1981).

8. Lana de Roca (Rockwool)

En los últimos años este sustrato artificial se ha utilizado en

experimentos en diferentes países, presentando características favorables para el desarrollo del jitomate (Sonnevel, 1980; Blaudjerg, 1984; Haenger, 1983; Dayn, 1983).

La técnica de producción de "lana de roca" se desarrolló en Dinamarca y Suecia, es fabricada a base de Coke y Caliza, estos materiales fundidos a una temperatura de 1600 °C e hilados en fibras, posteriormente las fibras son tejidas en placas, estabilizadas con resinas fenólicas y protegidas contra agentes humectantes. Presenta una reacción alcalina y alta retención de humedad (Sonneveld, 1980).

En México es costosa y difícil de conseguir.

9. Mezcla de diferentes materiales.

Adamson y Mass (1969) mencionan que los mejores resultados en cuanto a producción de jitomate, se han logrado sustituyendo el suelo por una mezcla de arena fina y aserrín en la proporción 3:1.

También se han experimentado mezclas de turba, arena y aserrín en iguales proporciones, obteniendo buenos resultados (Marcusen, 1981).

Son varios los autores que han utilizado mezclas de diferentes materiales, en busca de proporcionar las mejores propiedades físicas para el desarrollo de jitomate en un sistema hidropónico. (Farda y Halveka, 1982).

En el cuadro siguiente se observa las características principales tanto físicas, químicas y económicas de diversos sustratos, que han sido utilizados en sistemas hidropónicos.

Cuadro 7. Características de diversos sustratos.

S U S T R A T O	GRANULOMETRIA (mm)	POROSIDAD (%)	ABSORCION DE AGUA (%)	COSTO* (N\$)	OBSERVACIONES
Arenas	0.5-2	40	50	37.5/m ³	Falta O ₂
Aserrín	4-8	94	50	35.0/m ³	
Grava de río	20-25	85	40	38.3/m ³	
Grava de cuarzo	2-15	40	40	n.d.	
Piedra pómez	2-15	85	45	n.d.	Fijan P
Ladrillo	2-20	60	15	300/millar	Fijan P
Vermiculita	2-10	85	75	9.0/kg	térmico
Agrolita	1.4-1.6	80	75	7.0/kg	Carece de CIC.
Turba vegetal	2-4	80	95	n.d.	
Lana mineral	-	97	82	n.d.	
Cascarilla	3-6	75	60	n.d.	

Fuente: Apuntes para el Curso-Taller de Hidroponía. FES-Cuautitlán, 1994.

* Precios investigados en noviembre de 1994, en la Ciudad de México.

J. Rendimientos obtenidos en jitomate por diversos investigadores, bajo condiciones hidropónicas, utilizando diferentes sustratos.

Durany (1977) menciona que los rendimientos unitarios de jitomate que se consiguen en la hidroponia son netamente superiores a los obtenidos en el cultivo normal en el suelo, en el cultivo hidropónico de jitomate con un buen manejo es normal obtener -- rendimientos de 20 a 30 kg/m².

Sánchez et. al (1978) realizo un trabajo a escala comercial en Alpuyecá, Morelos, utilizando como sustrato arena de río, reporta rendimientos de 200 ton/ha, que comparados con los rendimientos tradicionales de 20/ton/ha se observa una diferencia de -- 1000%.

Dobrzanka 1979 citado por Valdivia 1989 menciona que en Polonia se han llegado a obtener 11.42 kg/m² de jitomate en primavera y 6.82 kg/m² en otoño, utilizando agrolita como sustrato.

Romero y Díaz citados por Sánchez (1978) mencionan que en base a resultados de experiencias en jitomate, bajo invernadero en condiciones controladas, proponen un sistema de producción hidropónica de 3 cosechas al año, utilizando tinas de polietileno, usando como sustrato arena de río y los rendimientos obtenidos por cosecha superan las 100/ton/ha.

Harris citado por García (1982) menciona que en invernaderos hidropónicos bien manejados se pueden lograr rendimientos anuales que varían entre 2.3 y 10.9 kg/planta.

Dequin 1983, obtuvo en Hamburgo, utilizando como sustrato grava, una cosecha cercana a 21 kg/m².

Ellis y Swaney citados por Penningfield (1983) afirman que en Ohio como promedio en el cultivo de jitomate, utilizando como sustrato grava, bajo condiciones de invernadero, obtuvo rendimientos de 4 a 7.7 kg/m².

Calzecchi, Onesti y Favilli, citados por Penningsfield (1983) mencionan que en la Universidad de Pisa, Italia, que en numerosos ensayos de cultivo en jitomate, utilizando como sustrato grava, han obtenido como promedio de 20 a 25 kg/m².

Baca (1983), evaluando soluciones nutritivas, frecuencia de riegos y densidad de siembra, así como sustratos en cultivos hidropónicos al aire libre, obtuvo rendimientos promedios, en tezontle negro de 30.971 y 27.67 kg/m² y en tezontle rojo los rendimientos fueron en promedio de 25.98 y 29.41 kg/m².

Escalante (1989) evaluando diferentes variedades de jitomate bajo condiciones hidropónicas, en un invernadero rústico, utilizó tezontle rojo con una granulometría de 0.5 a 20 mm. Sus resultados se pueden observar en el cuadro siguiente.

Cuadro 8. Rendimiento de diferentes variedades de jitomate, bajo condiciones hidropónicas, utilizando como sustrato tezontle rojo.

VARIEDAD	(kg/pl)	(ton/ha)	(kg/m ²)
Peto	0.473	12.77	1.27
Roma	1.1619	43.72	4.37
Homestead	2.412	65.12	6.61
Cal-ace	2.630	71.01	7.10
Florida	3.028	81.75	8.17

Fuente: Escalante G.A. 1989. tesis Profesional.

Torres (1989) al evaluar 7 al evaluar 7 soluciones nutritivas diferentes, utilizando como sustrato agrolita y tezontle, menciona en términos generales que la agrolita numéricamente hablando produjo un rendimiento mayor por planta que el tezontle.

Cuadro 9. Rendimientos obtenidos utilizando 7 diferentes soluciones nutritivas, utilizando agrolita y tezontle como sustrato.

TRATAMIENTO	R E N D I M I E N T O (g/pl)	
	AGROLITA	TEZONTLE
2	3 325.3	3 279.27
1	3 225.9	3 176.30
4	2 290.5	3 230.40
5	2 567.8	2 467.69
3	2 217.4	2 316.60
7	2 175.03	2 144.40
6	1 813.0	1 807.18

Fuente: Torres, G.M.S. 1989. Tesis Profesional.

Valdivia (1989) para evaluar diferentes sustratos, cultiva jitomate de la variedad Floradade.

Cuadro 10. Rendimientos obtenidos utilizando 5 diferentes sustratos y 3 mezclas diferentes de sustratos.

SUSTRATO	RENDIMIENTO/PLANTA (g)
1. arena azul	2067.0
2. arena de río	2334.0
3. agrolita	2254.8
4. tezontle grueso	2345.0
5. aserrín	2352.0
6. arena azul-aserrín (1:1)	2272.5
7. arena rosa-aserrín (1:1)	1502.5
8. tezontle grueso-aserrín (1:1)	2064.0

Fuente: Valdivia, V.M.A. 1989. Tesis profesional.

Borraz (190) trabajando con las variedades Tropic y Ace-55VF, evalua tres diferentes despuntes: a una, dos y tres inflorescencias, experimento con dos densidades diferentes: a nueve y dieciséis plantas por m², utilizó como sustrato arena de tezontle fino.

Cuadro 11. Rendimiento obtenidos en dos diferentes variedades de jitomate, experimentando tres diferentes despuntes y dos densidades diferentes.

TRATAMIENTO	VARIEDAD	DENSIDAD (pl/m ²)	RENDIMIENTO (g/pl)
Despunte a 1 inflorescencia	T	9	1003.77
Despunte a 1 inflorescencia	A	9	1038.85
Despunte a 1 inflorescencia	T	16	690.19
Despunte a 1 inflorescencia	A	16	799.12
Despunte a 2 inflorescencias	T	9	1298.47
Despunte a 2 inflorescencias	A	9	1115.59
Despunte a 2 inflorescencias	T	16	1045.80
Despunte a 2 inflorescencias	A	16	826.70
Despunte a 3 inflorescencias	T	9	1397.99
Despunte a 3 inflorescencias	A	9	1226.67
Despunte a 3 inflorescencias	T	16	1012.81
Despunte a 3 inflorescencias	A	16	2024.71
Sin despunte	T	3	1012.81
Sin despunte	A	3	2024.71

T - Variedad Tropic.

A A - Variedad Ace-55VF

Fuente: Borraz C.J. 1990. Tesis Profesional.

Hernández (1993) utilizó jitomate de la variedad Floradade, para evaluar diferentes podas y densidades de plantación, bajo condiciones hidropónicas, utilizando tezontle como sustrato.

Cuadro 12. Rendimientos obtenidos con tres diferentes densidades de plantación en jitomate, variedad Floradade.

DENSIDAD (pl/m ²)	RENDIMIENTO (kg/pl)
8	2.223
12	1.599
16	1.426

Fuente: Hernández, G.A. 1993. Tesis Profesional.

Hernández al no encontrar diferencias significativas por el efecto de la poda, concluye que la densidad de plantación en jitomate influye para la obtención de un mayor número de frutos por planta. En el cuadro siguiente observamos un resumen en forma cronológica de los rendimientos obtenidos en jitomate, por los personajes mencionados anteriormente.

Cuadro 13. Rendimientos obtenidos en jitomate, cultivado bajo condiciones hidropónicas.

INVESTIGADOR	SUSTRATO	R E N D I M I E N T O		
		(kg/pl)	(kg/m ²)	(ton/ha)
Durany, 1977.	n.d.		20-30	
Sánchez, 1978.	arena de rio			200
Romero y Díaz, 1978.	arena de rio			100
Dobrzanka, 1979.	agrolita		11.42 y 6.82	
Harris, 1982.	n.d.	2.3 - 10.9	12.2	
Dequin, 1983.	grava		21.0	
Ellis y Swaney, 1983.	grava	4.0 - 4.7		

Cuadro 13. Continuación

INVESTIGADOR	SUSTRATO	R E N D I M I E N T O		
		(kg/pl)	(kg/m ²)	(ton/ha)
Calzecchi y Favilli, 1983	grava		20-25 hasta 30	
Baca, 1983.	tezontle negro		27.67-30.97	
	tezontle rojo		25.98-29.41	
Escalante, 1989.	tezontle rojo	0.473	1.27	12.77
		1.619	4.37	43.72
		2.412	6.61	65.12
		2.630	7.10	71.01
		3.028	8.17	81.75
Torres, 1989.	agrolita	3.3253		
		3.2259		
		2.2905		
		2.5678		
		2.3166		
		2.1444		
		1.8130		
	tezontle	3.2790		
		3.1760		
		2.230		
		2.467		
		2.3160		
		2.1440		
		1.8070		
Valdivia, 1989	arena azul	2.067		
	arena de rio	2.334		
	agrolita	2.2548		
	tezontle grueso	2.345		

Cuadro 13. Continuación.

INVESTIGADOR	SUSTRATO	R E N D I M I E N T O (kg/pl)	R E N D I M I E N T O (kg/m ²)	R E N D I M I E N T O (ton/ha)
Valdivia, 1989.	aserrín	2.352		
	AA-aserrín (1:1)	2.2725	AA=arena azul	
	AR-aserrín (1:1)	1.5205	AR= arena rosa	
	TG-aserrín (1:1)	2.064	TG=tezontle grueso	
Tapía, 1989.	arena		1.606	
			1.970	
			2.723	
			4.156	
			4.998	
Borraz, 1990.	arena de tezontle	1.00377		
		1.03885		
		0.69019		
		0.79912		
		1.29847		
		1.11559		
		1.04580		
		0.82670		
		1.39799		
		1.22667		
		1.01281		
		2.02471		
		1.01281		
	2.02471			
Jiménez, 1990.	arena de tezontle rojo	3.103		
		3.085		
		2.879		
		2.669		
		2.602		
		2.501		
		2.372		
Hernández, 1993.	tezontle.	1.426		
		1.599		
		2.223		

II. MATERIALES Y METODOLOGIA.

Se propone evaluar 7 diferentes sustratos, con la finalidad de encontrar el sustrato más adecuado para la producción de jitomate, - bajo un sistema hidropónico en un invernadero rústico.

Para lo cual se requieren de los siguientes materiales:

A. Invernadero.

Se requiere de un invernadero rústico, construido de madera y con cubierta de polietileno transparente de calibra 600, el invernadero debe tener una superficie mínima de 200 m^2 , en forma de capilla - asimétrica (dos aguas).

B. Contenedores.

1. Semilleros.

Para los semilleros se utilizarán macetas de plástico rígido de un litro de capacidad, las cuales se llenarán con el sustrato a utilizar en el tratamiento correspondiente. Para cada sustrato se emplearán 10 macetas con dos plantas por maceta.

En total se emplearán 70 macetas las cuales se regarán dos veces - al día con regadera manual. aplicando 100 ml. diarios de agua por maceta, posteriormente desde la emergencia se regará con 100 ml. - de solución nutritiva.

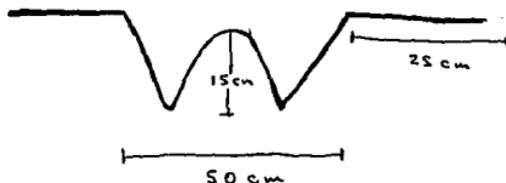
El transplante se realizará cuando las plantas presentes de 4-5 - hojas verdaderas, utilizando las plantas más fuertes y sanas de - cada sustrato.

2. Lugar definitivo.

Para el lugar definitivo, se emplearán láminas estructurales

estas son fabricadas de fibra de vidrio o de asbesto. (Fig. 1) Se utilizarán de fibra de vidrio preferentemente, debido a que es un material inerte; sí se utiliza láminas de asbesto se debe de aplicar un impermeabilizante, como pintura de aceite, para evitar reacción con los sustratos y la solución nutritiva. Las medidas de fabricación de las láminas son de un metro de ancho, existiendo diferentes medidas de largo, pero para este trabajo se recortarían a un metro de largo, para obtener 1 m^2 de superficie para cada unidad experimental.

Figura 1. Vista frontal de las láminas a utilizar.



C. Solución nutritiva.

Para la preparación de la solución nutritiva se utilizan los siguientes fertilizantes para cada 175 litros de agua.

Cuadro 14. Propuesta de fertilizantes a utilizar para la preparación de la solución nutritiva.

FERTILIZANTE	N U T R I M E N T O S					A P O R T A D O S			PESO (g)
	NO ₃	NH ₄	P	K	(P.p.m.) Ca	Mg	Fe		
KNO ₃	84			234				111.63	
Ca(NO ₃) ₂	112				160			127.55	
(NH ₄) ₂ HPO ₄		28	31					23.57	
MgSO ₄ 7H ₂ O						48		95.86	
FeSO ₄ 7H ₂ O							2	3.16	
Total	196	28	31	234	160	48	2	361.77	

D. Plaguicidas.

Sí se presentan problemas fitosanitarios, se utilizará los plaguicidas recomendados para su control.

E. Sustratos.

Se seleccionaron los siguientes sustratos, por ser de muy fácil adquisición en la Ciudad de México y en general en cualquier parte en nuestro país, son sustratos que cualquier persona interesada en establecer un sistema hidropónico, puede adquirir.

1. Arena.

Son arenas extraídas de minas y se adquieren fácilmente en comercios de materiales para construcción.

2. Tezontle rojo.

Es un tipo de lava volcánica de color rojo, se utiliza en la construcción de casas y carreteras.

3. Tezontle negro.

Es un tipo de lava volcánica de color oscuro, se utiliza comúnmente en la construcción de casas y carreteras.

4. Aserrín.

Es un material de desecho de aserraderos y madererías, son partículas finas que se desprenden al cortar la madera.

5. Agrolita.

Es un material de color blanco, muy ligero con la desventaja de su costo (N\$ 7.0/kg).

6. Vermiculita.

Tiene un color dorado y es bastante ligera, presenta alta retención de humedad, es bastante costoso (N\$ 9.0/kg).

7. Gravilla.

Es muy utilizada como material para la construcción, esta formada por fragmentos o trozos de piedra, cuyos diámetro queda comprendido entre 3.0 y 12 mm.

F. Plantas.

Se utilizará semillas de jitomate de la variedad Floradade, que es una variedad de jitomate de hábito semideterminado, alcanza de 0.9 a 1.5 metros de altura, su fruto es redondo y de tamaño mediano, con un peso de 100 a 150 g/fruto.

G. Material de laboratorio.

Para las determinaciones físicas de los sustratos se empleará los siguientes materiales:

- matraz aforado de 500 y 1000 ml.
- probeta de 100 ml.
- mechero Bunsen.
- Balanza granataria.
- mallas de los numeros 10, 20, 30, 60 y 100.
- estufa de secado.

H. Variables a evaluar.

Las variables propuestas a medir en el presente trabajo son las siguientes:

1. Principales características físicas de los diferentes sustratos a utilizar.
2. Promedio del rendimiento en kg/pl de fruto fresco para cada uno de los tratamientos.

I. Tratamiento previo a los sustratos.

Para tener una granulometría más o menos uniforme en las partículas de los sustratos, se realizará un tamizado con la ayuda de mallas de diferentes números, asimismo esto evitara que polvo, basura o desechos que contengan los sustratos impidan la libre circulación de la solución nutritiva a través de los contenedores. Se procurará mantener los sustratos dentro de los rangos que se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 15. Rango dentro del cual se buscará mantener los sustratos.

S U S T R A T O	GRANULOMETRIA DESEADA (mm)
arena (A)	0.5 - 2
aserrín (AS)	4 - 8
gravilla (G)	15 - 20
vermiculita (V)	2 - 10
agrolita (AG)	1 - 1.6
tezontle negro (TN)	5 - 10
tezontle rojo (TR)	5 - 10

Posteriormente se realizara un lavado a los sustratos con agua común y posteriormente se permitira su secado a temperatura ambiente cuando se sequen completamnte se procedera al llenado de los contenedores con los diferentes sustratos.

J. Determinación de las propiedades físicas de cada uno de los sustratos.

1. Densidad aparente.

La densidad aparente se obtiene dividiendo el peso del sustrato - sobre el volumen total del mismo (partículas y vacío).

Para calcularla utilizaremos la siguiente ecuación.

$$Da = Pss / Vt \dots\dots\dots(Ec.1)$$

Donde:

Da = densidad aparente (g/cm³)

Pss = peso del sustrato seco (g)

Vt = volumen total

2. Densidad real.

Para determinar esta propiedad física, se emplea una modificación al método del picnómetro, debido a la utilización de partículas más grandes que el suelo tamizado.

Se sustituye el picnómetro por un matraz aforado con fondo plano y se procede de la siguiente manera:

a. Se determina por separado el peso del matraz seco, el peso del matraz con agua y el peso del matraz con sustrato.

b. Se coloca una muestra de 100 ml de sustrato, se agrega agua hasta llenar el matraz a la mitad del volumen, se aplica calor por medio del mechero hasta el punto de ebullición, se mantiene durante 5 minutos para la eliminación del aire atrapado en el sustrato.

c. Al terminar de calentar, se afora con agua destilada y cuando tenga la temperatura ambiente, se procedera a pesar el matraz. Para el cálculo se utiliza la ecuación 2..

$$Dp = [Dw (Ws - Wa)] / [(Ws - Wa) - (Wws - Ww)] \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Dp = densidad de partícula (g/cm³)

Dw = densidad de agua a temperatura ambiente.

Wa = peso del matraz seco.

Ww = peso del matras con agua.

Wws = peso del matraz con agua mas muestra seca.

3. Porosidad.

Una vez determinada la densidad aparente y la densidad real, se emplea la ecuación 3 para determinar la porosidad.

$$f = 1 - (D_a / D_p) \dots\dots\dots (Ec. 3)$$

donde:

f = porosidad.

D_a = densidad aparente.

D_p = densidad de partícula.

1 = constante, se refiere al volumen total del sustrato.

K. Diseño experimental.

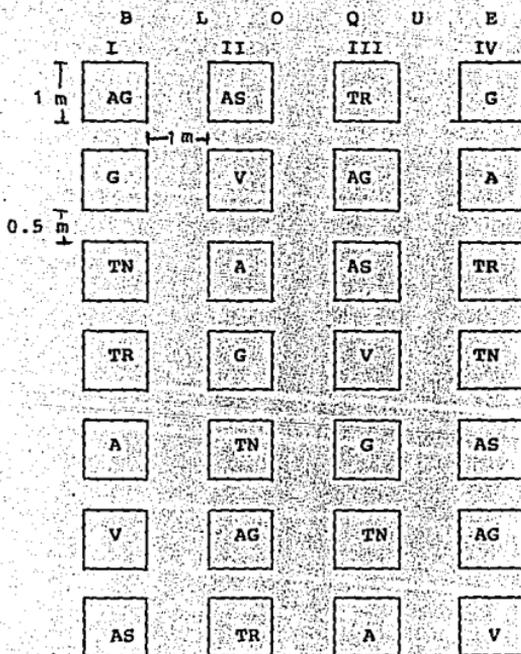
Cada experimental consta de 4 plantas, las cuales se arreglan en un diseño de bloques al azar, en el cual se tiene 7 tratamientos (sustratos) y 4 bloques (4 repeticiones), se observa en la figura 2.

Cada unidad experimental consta de los siguientes elementos:

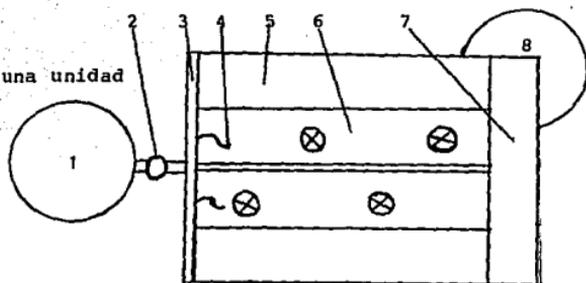
- un depósito para la solución nutritiva.
- un tubo o manguera principal de distribución.
- dos espaguetis para el riego por goteo.
- una llave de paso.
- una lámina acanalada de fibra de vidrio de 1 m²
- sustrato.
- 4 plantas de jitomate.
- un depósito colector de solución nutritiva para su reutilización.
- una canaleta para coleccionar la solución nutritiva.
- espaldera, la cual consistirá en un alambre colocado arriba de cada hilera, sera sostenido por la estructura del invernadero.

Figura 2. Disposición espacial de los tratamientos dentro del invernadero.

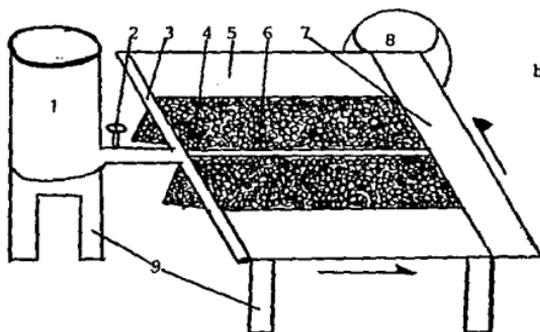
- (A) arena
- (AS) aserrín
- (G) gravilla
- (V) vermiculita
- (AG) agrolita
- (TN) tezontle negro
- (TR) tezontle rojo



a) Vista aérea de una unidad experimental.



b) Vista lateral de una unidad experimental.



1) deposito de la solución nutritiva.

2) llave de paso.

3) tubo principal.

4) espagueti.

5) lamina (contenedor)

6) sustrato

7) canaleta colectora.

8) depósito colector

9) soporte

⊗ planta.

→ pendiente.

Figura 3. a) Vista aérea de una unidad experimental.

b) Vista lateral de una unidad experimental.

III. CONCLUSIONES.

Los sustratos más utilizados por los investigadores han sido el tezontle, arena de río, grava, agrolita y aserrín, desafortunadamente los experimentos se han enfocado a evaluar el rendimiento en base a otros aspectos como: solución nutritiva, intervalo de riegos, contenedores, densidades y podas entre otros aspectos, olvidando a los sustratos como un aspecto relevante.

Antes de emplear un sustrato en un sistema hidropónico, se debe considerar las diferentes características que presenten los sustratos, debido a que estos presentan grandes diferencias físicas y químicas, que de alguna forma afectan los aspectos de nutrición y respiración de la raíz, en base a las características sera el manejo que se de al cultivo, es decir frecuencia de riegos, solución nutritiva y contenedores.

Analizando resultados en el rendimiento de las plantas en cada uno de los diferentes sustratos, la facilidad para conseguirlos y el costo de éstos, los productores podrían seleccionar el sustrato más adecuado para la producción hidropónica de jitomate.

De no existir diferencias significativas significativas en los rendimientos, se debe utilizar el sustrato más barato de los mencionados en este trabajo, debido a que su obtención es relativamente fácil.

Para trabajos posteriores sería interesante determinar características químicas y retención de humedad de cada uno de los sustratos, para determinar una solución nutritiva adecuada para cada uno de ellos. Asimismo investigar la degradación que sufren los sustratos por su uso dentro del sistema hidropónico, para tener una relación beneficio - costo de los sustratos más exacta.

BIBLIOGRAFIA

- Aung L. H. 1979, Temperature Regulation of Growth and Development of Tomato During Ontogeny. 1st. International Symposium on Tropical Tomato 1978. Asian Vegetal Research and Development Center. Taiwan, Republic of China. pp 79-93.
- Baca, C. G.A. 1983 Tesis Doctoral Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en los cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Colegio de Postgraduados, UACH, Chapingo, México.
- Blesa C., Luque A. 1972. Contribución al Estudio de los Materiales Volcánicos de las Islas Canarias para la Utilización en los Cultivos Hidropónicos. I.- Estudio general de las propiedades físicas y químicas. Ann. Edaf. y Agrobiol 31, 583-599.
- Boodt M.; Verdonck D. 1972. The Physical Propierties of the Substrates in Horticulture. Acta Horticulturae No. 26. pp 37-41.
- Cancino B. J. Tesis Profesional; Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*hycopersi cum esculentum mill*) en la hidroponia, bajo invernadero. UACH, Chapingo, México.
- Cazarez G.R. 1994. Apuntes del Curso-Taller de Hidroponia. FES-Cuautitlán, México.
- Dentron S.; Ortiz A., 1989. El tomate invitado de todas las mesas. Selecciones del Reader's Digest. No. 581. Abril de de 1989.

- Dobrzanska J., 1979. Suitability of Different Substrates for -
 Growing Several Tomato Cultivars Under Glass. Biuletyn --
 Warzymniczy 23, 393-409. Poland.
- Drews M., 1984. The Influence of Some Growth Factors on the Wa-
 ter Balance of Greenhouse tomato. Der einfluss Einiger To-
 mate. archiv für Gartenbau 32(3), 103-114. German Democra-
 tic Republic.
- Escalante G.A. 1989. Tesis Profesional: Evaluación de 5 varieda-
 des de jitomate (*lycopersicum esculentum*) en hidroponia -
 bajo invernadero rústico. UACH, Chapingo, México.
- Escalante R.E.R. 1988. Dispositivo para determinar la curva de
 retención de humedad en sustratos hidropónicos. Trabajo
 no publicado. Dep. de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México.
- Garza L.M.M., 1984. Producción de Hortalizas en México. Dep. -
 Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.
- Gosselin A.; Trudel M.J., 1984. Interactions Between Root-Zone
 Temperature and Light levels on Growth, Development and
 Photosynthesis of *Lycopersicum esculentum* Mill cv. Scientia
 Horticulturae 23, 313-321.
- Guenkov G. 1973. Fundamentos de Horticultura Cubana. Secretaría
 de Agricultura de la Habana. Cuba.
- Hanger B.C., 1982. Preliminary Results With Australian Rockwool
 Used for Plant Proagation and in Hidroponics Systems. Com-
 binaded Procedins. International Plant Propagators Society
 publ. 1983. Victoria, Australia.

- Harris A.; Marce P.C.J., 1984. Growing Tomatoes in a Plastic Greenhouse in Uncomponed Pine Bark. ISOSC Proceeding. The Netherland. Sixth International Congress on Soilless Culture. Luntern.
- Hernández G.A., 1993. Tesis Profesional: Evaluación de 3 densidades y 2 tipos de poda en jitomate en hidroponia bajo invernadero. UACH, Chapingo, México.
- Hernández G.N., 1992. Tesis Profesional: Evaluación Técnica Financiera de la producción de hortalizas en hidroponia bajo 2 tipos de invernadero. UACH, Chapingo, México.
- Jaimes A.A., 1985. Tesis Profesional; Evaluación del Aserrín de Pino como Sustrato Hidropónico. Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Jiménez G.M.G. 1990. Tesis Profesional: Efecto de sustancias reguladoras del crecimiento para el amarre del fruto en jitomate (*Lycopersicum esculentum mill*) en hidroponia. -- UACH, Chapingo, Méx.
- Kingham. 1973. UK Tomato Manual. Grower Books. Edited by H.G. - Kingham. London. pp 227.
- Lunque A., 1981. Physical and Physicochemical of the Volcanic Material Used in Hydropony. Acta Horticultrae 126. Substrates in Horticulturae.
- Martínez L.A. 1992. Tesis Profesional. Producción de Semillas bajo hidroponia en condiciones de invernadero. UACH, Chapingo, México.

- Omana S.J.M., 1991. Tesis Profesional: Determinación del mercado para hortalizas producidas bajo condiciones de hidroponía rústica en el Municipio de Salinas de Hidalgo, S.L.P. -- UACH, Chapingo, México.
- Penningsfeld F.; Kurzmann P., 1975. Cultivos Hidropónico y en Turba. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Pudelski T., Common Beech Bark Compost as Growing Vegetables - Under Protection. Institute of Horticultura Production 60-594. Poznan, Poland.
- Resh, H., 1981. Hidroponía. Editores Mundi-prensa. Madrid, España.
- Resh, H.M. 1982. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Richmond J.S., 1969. Soilles Culture in North West England; 20 years of Experience. Proceedings World Congress on Hydroponics. IWOSC. pp 68-70.
- Sánchez C.F.; Escalante E.R., 1981. Hidroponía, un Sistema de Producción, Principios y Métodos. Universidad Autónoma -- Chapingo. Chapingo, México. pp 53-76.
- Schwarz M., 1989. Oxigenating of Nutrient Solution In Normal and Stress Conditions. Soilles Culture, Vol. V, No. 1 -- pp. 45-53.
- Sonneveld C. Growing Cucumber and Tomatoes in Rockwool Glass--house Crops Research and Experiment Station. Netherlands. pp 253-262.

- Steiner A. A., 1969. Posibilidades Económicas de la Hidroponia en Regiones Templadas. Wageningen, Netherlands. ISOSC.
- Tapia, G.I. 1989. Tesis Profesional: Influencia de las sustancias húmicas sobre el crecimiento y producción del cultivo de jitomate (*Lycopersicum esculentum mill*) en condiciones de hidroponia e invernadero. UACH Chapingo, México.
- Torres, G.M.S. 1989. Tesis Profesional: Evaluación de 7 soluciones nutritivas en el cultivo del jitomate (*Lycopersicum esculentum mill*) en hidroponia, bajo invernadero -- rústico, UACH, Chapingo, Méx.
- Valdivia, V.M.A. 1989. Tesis Profesional: Prueba de diferentes sustratos para la producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum mill*) en hidroponia, bajo invernadero rústico UACH, Chapingo, Mexico.
- Verdonck O.F.; Boodt M., 1981. The Influence of the Substrates in Horticulturae.
- Wilson G.C.S., 1985. New Perlite System for Tomatoes and Cucumbers. Acta Horticulturae 152, 151-156.