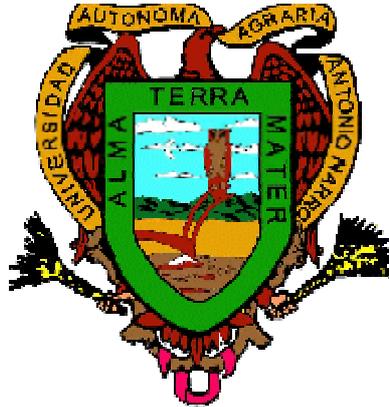


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD REGIONAL LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Parámetros físico-químicos de diferentes sustratos utilizados en la
producción de cultivos bajo condiciones de invernadero**

POR:

JUAN MARIANO CRUZ MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México, Noviembre de 2009.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD REGIONAL LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Parámetros físico-químicos de diferentes sustratos utilizados en la
producción de cultivos bajo condiciones de invernadero

POR:

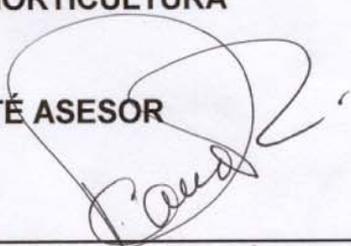
JUAN MARIANO CRUZ MARTÍNEZ

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

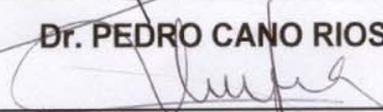
REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR

ASESOR PRINCIPAL:



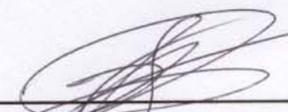
Dr. PEDRO CANO RIOS

ASESOR:



Dr. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

ASESOR:



Dr. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR:



Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ



ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México, Noviembre de 2009



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

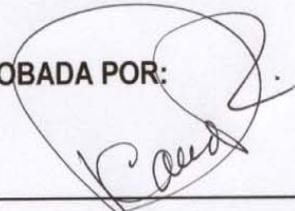
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD REGIONAL LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE EL C. JUAN MARIANO CRUZ MARTÍNEZ QUE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

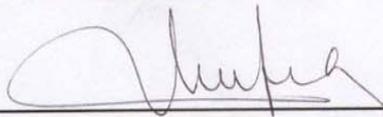
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



Dr. PEDRO CANO RIOS

VOCAL:



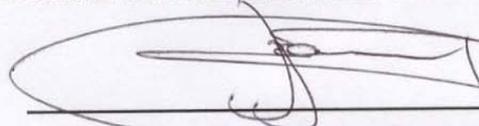
Dr. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

VOCAL:

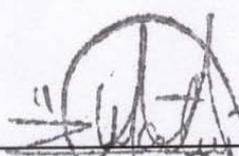
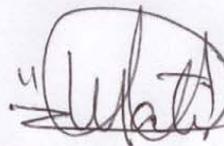


Dr. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL:



Dr. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

ME. VICTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México, Noviembre de 2009



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

I. DEDICATORIAS

A mis padres María Dolores Martínez Martínez y Juan Mariano Cruz Catarina por el inmenso amor y cariño e incansable esfuerzo que realizaron para que lograra desenvolverme a lo largo de toda mi carrera; permitiéndome sobresalir y ser mejor cada día.

A mis hermanas: Brígida, Bonifacia, Cecilia, Juana, Claudia y mi hermano Celerino que estuvieron en todo momento conmigo, apoyándome y brindándome su confianza, cariño y comprensión, lo que me ayudó a salir adelante.

A mis abuelos María Juana Martínez Martínez(+), José Antonio Martínez Martínez(+), Juan de la Cruz Hernández y María Cecilia Hernández Catarina.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por darme la vida, dejarme llegar hasta aquí, y por mantener a mis padres conmigo, gracias.

A mi “ALMA TERRA MATER”. Por permitirme una formación profesional en la cual me desempeñare y de la cual siempre estaré orgulloso.

A todas las personas e instituciones que colaboraron junto a mí en el desarrollo de este proyecto de investigación para que se pudiera llevar a cabo.

Quiero dar las gracias al Ph.D Pedro Cano Ríos y al Ph.D. Uriel Figueroa Viramontes por creer en mí y darme la oportunidad de trabajar en esta investigación, por sus consejos, apoyo para seguir adelante y compartir su tiempo, conocimientos y experiencia. Ellos me encaminaron por el buen camino del saber. Con estas dos personas he aprendido que hacer una investigación no es solo cuestión de profesionales es cuestión de amigos.

Quiero agradecer al Ph.D Vicente De Paul Alvarez Reyna y al Dr. Alejandro Moreno Reséndez, por su tiempo y apoyo para la realización de esta tesis, gracias por todo.

Quiero agradecer al INIFAP laguna, donde se realizó esta investigación y a todos los empleados de la estación que de alguna u otra manera estuvieron involucrados en la realización de este proyecto. A la Maestra Esmeralda Ochoa Martínez por sus consejos e información y a todos aquellos que hicieron realidad esta investigación.

A mi familia, por apoyarme siempre en todos mis proyectos, gracias por creer en mí. Finalmente a mis amistades que siempre me apoyaron y están ahí, compañeros de grupo, a mis profesores gracias a todos por su ayuda, sus consejos y su motivación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE APÉNDICE	XII
RESUMEN	XIII
I.INTRODUCCIÓN	1
I.1. Objetivo	3
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Metas.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 ¿Que es un sustrato?	4
2.1.1 Contenedor.....	5
2.1.2 Caracterización del sustrato	5
2.1.3 Materiales utilizados como sustratos.....	5
2.2 Problemática de los sustratos	6
2.2.1 Problema de tipo técnico	6
2.2.2 Problema de concepto.....	6
2.2.3 Problema de manejo	7
2.2.4 Problema de precio	7

2.2.5 Problema de disponibilidad	7
2.2.6 Problema ambiental	8
2.2.7 Problema de investigación	9
2.3 Ventajas e inconvenientes de los cultivos en sustratos.....	9
2.4 Sistemas de cultivo en sustrato	10
2.5 Propiedades físicas	11
2.5.1 Características granulométricas	11
2.5.2 Humedad y materia seca.....	13
2.5.3 Densidad aparente	14
2.5.4 Densidad real	16
2.5.5 Espacio poroso total	16
2.5.6 Características de retención de agua de los sustratos.....	17
2.5.6.1 Capacidad de aireación.....	18
2.5.6.2 Agua fácilmente disponible.....	19
2.5.6.3 Agua de reserva	20
2.5.6.4 Agua total disponible	20
2.5.6.5 Agua difícilmente disponible.....	21
2.5.6.6 Capacidad de retención de agua.....	21
2.6 Propiedades químicas de los sustratos	22
2.6.1 Materia orgánica y ceniza.....	22
2.6.2 pH.....	22
2.6.3 Salinidad.....	23
2.6.4 Capacidad de intercambio catiónico.....	23

2.7 Propiedades biológicas de los sustratos	25
2.7.1 La bioestabilidad	25
2.7.2 Velocidad de descomposición	26
2.7.3 Actividad reguladora del crecimiento.....	26
2.8 Características del sustrato ideal	27
2.8.1 Propiedades físicas	28
2.8.2 Propiedades químicas	28
2.8.3 Propiedades biológicas	28
2.9 Tipos de sustratos	29
2.9.1 Según sus propiedades.....	29
2.9.1.1 Químicamente inertes	29
2.9.1.2 Químicamente activos	29
2.9.2 Según el origen de los materiales	30
2.9.2.1 Materiales orgánicos	30
2.9.2.2 Materiales inorgánicos o minerales	30
2.10 Descripción general de algunos sustratos.....	31
2.10.1 Arena.....	31
2.10.2 Turba.....	32
2.10.3 Fibra de coco.....	33
2.10.4 Tezontle.....	34
2.10.5 Perlita	34
2.10.6 Lana de roca	35

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera.....	36
3.2 Clima de la Comarca Lagunera.....	36
3.3 Localización del experimento.....	36
3.4 Diseño experimental.....	36
3.5 Origen de los sustratos evaluados.....	37
3.6 Preparación de columnas y mezclas.....	37
3.7 Parámetros evaluados.....	38
3.7.1 Capacidad de retención de humedad.....	38
3.7.2 Densidad aparente.....	38
3.7.3 Conductividad eléctrica (CE).....	38
3.7.4 pH.....	39
3.7.5 Nitrógeno inorgánico.....	39
3.8 Análisis nutrimental de los sustratos orgánicos.....	39
3.9 Análisis de resultados.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 Características físicas.....	40
4.1.1 Retención de humedad.....	40
4.1.2 Densidad aparente.....	41
4.2 Propiedades químicas.....	42
4.2.1 Composición nutrimental de los abonos orgánicos.....	42
4.2.2 Conductividad eléctrica.....	43
4.2.3 pH.....	50

4.2.4 Nitrógeno inorgánico	56
V. CONCLUSIONES	63
VI. LITERATURA CITADA.....	64
VII. APÉNDICE	71

ÍNDICE DE CUADROS	Página
Cuadro 3.1. Diseño factorial de los tratamientos utilizados. UAAAN-UL. 2009.	37
Cuadro 4.1. Valores promedio de la variable retención de humedad (%) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.	41
Cuadro 4.2. Valores promedio de la variable densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción.UAAAN-UL.2009.	42
Cuadro 4.3. Análisis nutrimental de los sustratos orgánicos.UAAAN-UL.2009.	43
Cuadro 4.4. Valores promedio de la variable conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción.UAAAN-UL.2009.	48
Cuadro 4.5. Conductividad eléctrica de los filtrados a valores de 1 y 2 vf/vp. UAAAN-UL.2009.	50
Cuadro 4.6. Valores promedio de la variable pH para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción.UAAAN-UL.2009.	56
Cuadro 4.7. Valores promedio de la variable nitrógeno inorgánico ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción.UAAAN-UL.2009.	62

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
Figura 4.1. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.	44
Figura 4.2. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.	44
Figura 4.3. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.	45
Figura 4.4. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.	45
Figura 4.5. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.	46
Figura 4.6. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009.	46
Figura 4.7. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009.	47
Figura 4.8. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378 mL). UAAAN-UL.2009.	47
Figura 4.9. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.	51
Figura 4.10. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.	51

Figura 4.11. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.	52
Figura 4.12. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.	52
Figura 4.13. pH de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.	53
Figura 4.14. pH de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009.	53
Figura 4.15. pH de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009.	54
Figura 4.16. pH de la solución filtrada de columnas arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378.0 mL). UAAAN-UL.2009.	54
Figura 4.17. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.	57
Figura 4.18. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.	57
Figura 4.19. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.	58
Figura 4.20. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.	58
Figura 4.21. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.	59

Figura 4.22. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009. 59

Figura 4.23. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009. 60

Figura 4.24. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378.0 mL). UAAAN-UL.2009. 60

ÍNDICE DE APÉNDICE	Página
Cuadro 1A. Análisis de varianza para variable retención de humedad para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.	71
Cuadro 2A. Análisis de varianza para variable densidad aparente para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.	71
Cuadro 3A. Análisis de varianza para variable conductividad eléctrica para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.	72
Cuadro 4A. Análisis de varianza para variable pH para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.	72
Cuadro 5A. Análisis de varianza para variable nitrógeno inorgánico para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.	73

RESUMEN

Actualmente en México se están extendiendo rápidamente los sistemas de producción de frutos o partes comestibles de hortalizas en condiciones de invernadero. El sistema más comúnmente utilizado es el producir utilizando sustratos con o sin recirculación de la solución nutritiva. Antes de utilizar un sustrato en explotaciones comerciales es muy importante el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, de esto depende el éxito o el fracaso de una buena producción de las partes que se comercializan de un cultivo hortícola. Por otro lado es importante tomar en consideración el costo del sustrato. Es posible que un sustrato barato no posea todas las propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas de un sustrato caro, sin embargo es importante considerar que éstas se pueden adecuar por medio del manejo, de tal manera que la relación costo/ beneficio se puede incrementar utilizando un sustrato barato.

El objetivo de la investigación fue realizar la caracterización física y química de diferentes sustratos usados en la producción de cultivos hortícolas bajo invernadero en la Comarca Lagunera. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con ocho tratamientos. Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de suelo del Campo Experimental la Laguna (CELALA- INIFAP), ubicado en el Boulevard José Santos Valdez No. 1200 Pte. Col. Centro, municipio de Matamoros Coahuila, México, en el periodo comprendido del 6 de octubre al 29 de noviembre del 2008. Las propiedades físicas que se evaluaron fueron capacidad de retención de humedad, densidad aparente y los parámetros químicos evaluados fueron conductividad eléctrica, pH y nitrógeno inorgánico, los sustratos evaluados fueron arena + compost, arena + compost con yeso, arena + vermicompost, arena + Peat moss, perlita + compost, perlita + compost con yeso, perlita + vermicompost y perlita + Peat moss.

Los sustratos que presentaron un adecuado porcentaje de retención de humedad fueron: perlita + vermicompost, perlita + compost con yeso, perlita + Peat moss y perlita + compost. Los sustratos perlita + compost, perlita + compost con yeso, perlita + Peat moss y perlita + vermicompost cumplen con los niveles de densidad aparente usados en la producción hortícola. En el caso de la

conductividad eléctrica los sustratos arena + compost, arena + Peat moss, arena + vermicompost, perlita + compost, perlita + Peat moss y perlita + vermicompost presentaron una CE dentro del rango. El rango óptimo de pH lo presentó únicamente el sustrato arena + Peat moss con un pH de 6.5, todos los restantes están fuera del rango óptimo sugerido pero los sustratos perlita + composta con yeso, arena + composta con yeso y arena + peat moss presentan un pH casi neutro los cuales pueden ser usados en explotaciones hortícolas. El sustrato con mas alto contenido de nitrógeno inorgánico en el lixiviado al final del proceso de lavado fue arena + vermicompost. El sustrato con el más bajo contenido fue perlita + Peat moss. Los lixiviados de los sustratos orgánicos mezclados con arena presentaron un contenido mayor de N total. En general todos los sustratos evaluados presentan un buen contenido de nitrógeno.

Palabras clave: *Lixiviados, capacidad de retención de humedad, densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, nitrógeno inorgánico.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, todas las ciencias están experimentando avances tecnológicos importantes. Afortunadamente la agricultura se está beneficiando de toda esta revolución tecnológica; en este sentido, se ponen a disposición del agricultor variedades más competitivas y productivas que las tradicionales, nuevos materiales (sistemas de riego, materiales de cobertura, etc.) que permiten un control ambiental más exhaustivo en alguna fase del proceso productivo de las plantas. Además, de todos estos cambios tecnológicos se observa que se está sustituyendo, de manera cada vez más importante, el cultivo tradicional en suelo por el cultivo hidropónico y en sustrato (Abad y Noguera, 1997). Este fenómeno ha sido más pronunciado en aquellos sectores más intensivos de la agricultura, como es el caso de la producción hortícola y ornamental (Pastor, 1999).

Entre las distintas razones que han ido provocando esta sustitución podrían mencionarse especialmente dos:

a) La presencia cada vez mayor de factores limitativos para la continuidad de cultivos intensivos en pleno suelo (agentes fitopatógenos, salinidad, etc.) que obliga a adoptar técnicas productivas alternativas. En este sentido encaja perfectamente la problemática que están experimentando algunas zonas con una importante tradición productiva hortícola y ornamental, pero que, debido a la continuidad e intensidad de los cultivos durante bastantes años, hace que el elemento “suelo” esté enormemente degradado y tengan que adoptarse soluciones alternativas.

b) La necesidad de transportar plantas completas a distintos lugares de donde fueron cultivadas; este hecho es habitual cuando se trata de plantas ornamentales en las que su lugar de producción puede distar significativamente del lugar de comercialización o consumo (no es extraño que esta distancia alcance varios miles de kilómetros (Pastor, 1999).

El desarrollo de sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo de plantas en contenedor (Burés, 1997) parece que la propia demanda del sector productivo

es la que ha obligado a desarrollar materiales adecuados que puedan ser utilizados satisfactoriamente en el cultivo de plantas en contenedor.

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en pleno suelo (Abad, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas en el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato. En el caso del cultivo de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado ya que de él las plantas absorberán el oxígeno, agua y elementos nutritivos. Por otra parte, hay referencias que indican que en el cultivo intensivo de plantas, en el que las temperaturas están controladas y los niveles de elementos nutritivos en el sustrato altos, se produce una mayor absorción de agua y transpiración por parte de la planta, debido a el tiempo de apertura de estomas que es superior (Abad,1993); esto obliga a regar frecuentemente para que en todo momento exista agua fácilmente disponible en el sistema radicular, lo que sin duda puede ocasionar problemas por falta de aireación. Por lo anterior, es conveniente emplear sustratos con una elevada porosidad. Esta es la causa fundamental de que un suelo agrícola no pueda ser utilizado para el cultivo en contenedor (Pastor, 1999). Comúnmente se utilizan abonos orgánicos, como compost o vermicompost, para la producción de cultivos en invernadero. Algunos de estos productos pueden contener hasta 5% de sales solubles, por lo que es importante realizar análisis químico del sustrato y lavar parte de la salinidad antes de establecer el cultivo.

1.1. Objetivos

Caracterizar física y químicamente diferentes sustratos usados en la producción de cultivos hortícolas bajo invernadero.

Evaluar los cambios en salinidad, nitrógeno y pH durante el proceso de lavado de los sustratos.

1.2. Hipótesis

Las mezclas de sustratos presentan características físicas y químicas idóneas para la producción de cultivos hortícolas bajo condiciones de invernadero.

1.3. Meta

Obtener una mezcla de sustratos (inorgánico + orgánico) que represente una alternativa viable para su uso en la producción hortícola en la Comarca Lagunera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ¿Que es un sustrato?

El término *sustrato* se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado, en un contenedor en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por lo tanto, un papel de soporte para las plantas (Blanc, 1987; Abad, 1991; Abad y Noguera, 1998, Calderón, 2003).

El sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. Los sustratos se usan en los sistemas de cultivo sin suelo, entendiéndose como tales a aquellos sistemas en los que la planta desarrolla su sistema radical en un medio sólido y el cual está confinado en un espacio limitado y aislado del suelo. Los cultivos sin suelo se pueden clasificar en cultivos hidropónicos puros (en solución nutritiva con un sistema de oxigenación) y cultivos en sustratos (Urrestarazu, 2000).

En el estudio de los sustratos es indispensable concebir a los sustratos en contenedor como un sistema formado por tres fases:

- a) Una fase sólida la cual asegura el anclaje del sistema radical y la estabilidad de la planta.
- b) Una fase líquida que asegure el suministro de agua y elementos nutritivos a la planta.
- c) Una fase gaseosa que asegure el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono entre las raíces y el medio externo (Sánchez *et al.*, 2004).

Cualquier material orgánico, mineral o artificial puede ser empleado como sustrato, con la condición de que desempeñe las funciones expuestas anteriormente. El problema fundamental en los sustratos es asegurar la producción de biomasa de las partes aéreas con la ayuda de un volumen limitado de sistema radicular (Sánchez *et al.*, 2004).

2.1.1 Contenedor

Se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se encuentre a presión atmosférica (Burés, 1998).

2.1.2 Caracterización del sustrato

Antes de utilizar un sustrato para el desarrollo de una planta es necesario caracterizarlo. Caracterizar un sustrato es evaluar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, para establecer si son adecuadas para el desarrollo de un cultivo, o bien es necesario hacer alguna adecuación para su utilización (Sánchez *et al.*, 2004).

Al igual que se han caracterizado y clasificado los suelos para su manejo, se ha hecho necesario hacer lo mismo con los sustratos. En el caso de los suelos, la caracterización química viene a ser de primordial importancia y en general se le asigna una importancia limitada a sus propiedades físicas. Por el contrario en el caso de los sustratos, la caracterización física viene a ser de fundamental importancia (Raviv *et al.*, 1986) y la caracterización química viene a ser menos relevante, dado que los elementos nutritivos se suministran en la solución nutritiva (Castellanos, 2004).

2.1.3 Materiales utilizados como sustratos

Actualmente, existen una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, precio, disponibilidad y características propias del sustrato (Hartmann y Kester, 2002).

Los sustratos que mas comúnmente se usan en la horticultura protegida en los sistemas de cultivo sin suelo son: Perlita, lana de roca, vermicompost, composts, tezontle, arena, turba, corteza de pino y fibra de coco (Castellanos, 2004).

2.2 Problemática de los sustratos

2.2.1 Problema de tipo técnico

El problema más generalizado en las explotaciones hortícolas a la hora de utilizar un determinado sustrato, bien sea de tipo comercial, bien una mezcla preparada *in situ* por el agricultor, es el de su “manejo”. La experiencia demuestra que cuando se presentan problemas con un sustrato, ello es debido a que el manejo de éste no es el adecuado. Existen entonces dos soluciones: a) el agricultor se adecúa a las características y propiedades del sustrato que está utilizando, o b) el sustrato se prepara y maneja de acuerdo con las características y la forma de cultivar del agricultor (Urrestarazu, 2004).

2.2.2 Problema de Concepto

Uno de los problemas más importantes del cultivo de plantas en sustrato, es la existencia de un error conceptual en la mayor parte de los establecimientos comerciales, donde se prioriza el costo económico y la simplicidad de la mezcla (un único sustrato de crecimiento para un número excesivamente grande de especies), en lugar de intentar satisfacer los requerimientos de cada especie cultivada. Las razones para que ello ocurra se encuentran en un desconocimiento de la respuesta a diferentes combinaciones de sustratos para la mayor parte de las especies (Di Benedetto *et al.*, 2000).

En este sentido, se debe entender que las características de los sustratos deben ser diferentes en función de su finalidad. Distintas características deberían tener los sustratos destinados al enraizamiento de estacas o al crecimiento y desarrollo de diferentes especies vegetales. No obstante, se debe ir más allá, ya que se tiene constancia de que las propiedades de los sustratos inducen características diferenciales de las plantas que crecen en ellos. De esta forma, se pueden obtener plantas, cuyo destino sea transplantarlas a un terreno definitivo (como es el caso de plantas arbustivas), que sean más competitivas que otras plantas cultivadas en distintas condiciones (Pastor, 1999).

2.2.3 Problema de Manejo

La experiencia en los viveros que utilizan los sustratos como medio de cultivo, demuestran que el manejo del sustrato es clave en el éxito de la explotación. El correcto uso del sustrato, sobre todo respecto a la gestión del agua y oxígeno, lo que abre la puerta de una producción adecuada. Un sustrato puede comportarse de manera deficiente si no se maneja adecuadamente. Esto obliga a que el viverista deba conocer minuciosamente las características de los sustratos si se quiere optimizar su utilización (Pastor, 1999).

2.2.4 Problema de Precio

El productor que ha decidido utilizar como medio de cultivo un sustrato agrícola debe decidir si lo compra listo para ser usado o si adquiere los materiales en forma separada para, posteriormente, preparar la mezcla más adecuada a sus necesidades. La mayoría de las veces el desconocimiento de los pasos y materiales involucrados en la preparación de las mezclas de sustratos conducen al agricultor a tomar decisiones equivocadas (Nelson, 1998).

En consecuencia, el precio del sustrato ha de ser accesible y lo más económico posible. Lógicamente, el precio acostumbra ser elevado para aquellos materiales cuyos centros de consumo se encuentran alejados de los puntos de extracción o fabricación (es el caso de las turberas). Esto ha generado nuevas expectativas de materiales que hasta hace poco tiempo no eran considerados (Nelson, 1998; Pastor, 1999).

2.2.5 Problema de Disponibilidad

Actualmente, el suministro y homogeneidad de los sustratos es un problema importante desde el punto de vista práctico. Turbas, lanas de roca, perlita, vermiculita, fibra de coco, etc., presentan importantes diferencias, al nivel de suministro y calidad de los materiales, en cada uno de los diferentes centros de producción o fabricación (Abad, 1993).

En este sentido, el sustrato ha de estar disponible al viverista en cualquier época del año y mantener una homogeneidad en la calidad del material a lo largo del tiempo. Es decir, no deben producirse variaciones significativas de las características del sustrato, ya que esto obligaría al viverista a modificar su manejo cada vez que recibe un nuevo envío del sustrato, lo que desde el punto de vista práctico y económico resulta poco operativo (Abad, 1993; Burés, 1997; Pastor, 1999).

2.2.6 Problema ambiental

La mayor sensibilización social hacia el agotamiento de los recursos no renovables y la protección ambiental está afectando las mezclas de materiales que pueden formar parte de un sustrato agrícola (Lemaire, 1997; Pastor, 1999). Consecuentemente, cada día un mayor número de países está implementando fuertes restricciones a la extracción indiscriminada de materiales autóctonos como una forma de proteger sus ecosistemas (Carlite, 1999). Adicionalmente, a ello, gran parte de la investigación adicional en sustratos se dedica a estudiar el impacto ambiental asociado a su producción, como una forma de reducir el uso de pesticidas, sustancias nutritivas y surfactantes en las mezclas (Riviére y Caron, 2001).

En correspondencia a lo anterior, han aparecido en el mercado materiales “ecológicamente correctos”, como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables (Burés, 1997).

Actualmente, los nuevos tiempos están haciendo que todos estos materiales alternativos estén siendo cada vez más atractivos para ser incluidos en la dinámica productiva de las explotaciones, tanto solos (si sus características lo permiten), como mezclados con materiales tradicionales. Es aquí donde la investigación juega un papel importante a la hora de estudiar y ensayar las mezclas adecuadas, establecer la necesidad de biotransformar los distintos materiales, y evaluar el impacto social y ambiental que la producción de estos materiales generan (Pastor, 1999; Riviére y Caron, 2001)

La utilización de este tipo de materiales ofrece dos ventajas fundamentales:

1.- Las materias primas o los materiales utilizados en la fabricación de los sustratos tienen un costo alternativo menor que algunos materiales tradicionales. Esto ocurre como consecuencia de la naturaleza de los componentes, puesto que en una gran mayoría se constituyen por materiales de origen autóctonos, de gran disponibilidad y bajo costo (Rainbow y Wilson, 1998).

2.- Desde el punto de vista ecológico y económico, la biotransformación resulta ser uno de los métodos más favorables para el tratamiento de una gran cantidad de residuos orgánicos. Esto debido a que integra y da una finalidad productiva a materiales secundarios de otros procesos productivos (incluso industriales) que de otra manera hubiesen acabado acumulándose en pilas gigantescas sin ninguna utilización (Pastor, 1999).

2.2.7 Problema de Investigación

Actualmente, el conocimiento base de los sustratos provenientes de antiguos trabajos sobre sustratos y de las ciencias del suelo, resulta en algunos casos insatisfactorio. Adicionalmente, las nuevas metodologías propuestas para el reemplazo de estos conocimientos aún no han sido completamente probadas o estandarizadas, motivo por el cual no se han considerado como un conocimiento de referencia. Motivo por el cual, parte de la investigación debe dirigirse a incrementar la consistencia de los resultados analíticos y elaborar protocolos que faciliten su interpretación (Riviére y Caron, 2001).

2.3 Ventajas e inconvenientes de los cultivos en sustratos

Las principales razones para la expansión de los cultivos en sustrato han sido evitar enfermedades del suelo (en invernaderos contaminados, principalmente, por el monocultivo) y los buenos resultados agronómicos de estos sistemas (Urban, 1997). Complementariamente, con la evolución de su tecnología y el perfeccionamiento de su manejo pueden mejorar la eficiencia del uso del agua y abonos contribuyendo, además, a suprimir diversas faenas culturales de manejo del suelo (Savvas y Passam, 2002).

Las mayor producción y precocidad de los cultivos sin suelo se deriva de la que permiten conseguir una buena calidad de la producción, si se manejan adecuadamente (Morard, 1995).

Entre los principales inconvenientes de los cultivos en sustrato destaca el mayor costo que implica su instalación (respecto al cultivo convencional en suelo), la exigencia de un nivel tecnológico elevado para su manejo por el horticultor y la débil inercia del sistema, pues el limitado volumen del sustrato implica una limitada disponibilidad de agua que obliga a una vigilancia continua, para evitar fallas en el suministro hídrico, cuyas consecuencias pueden ser drásticas. El costo de instalación del cultivo en sustrato es, hoy día, inferior al costo de implantación de un cultivo “enarenado”.

Otro aspecto negativo de los cultivos en sustrato son los drenajes que generan así como los residuos de sustratos, cuyo reciclado depende del tipo de sustrato (Castilla, 2004).

2.4 Sistemas de cultivo en sustrato

En el sistema de cultivo en sustrato la solución nutritiva se aporta en exceso por la parte superior, mediante goteros o microaspersores, o por la parte inferior del sustrato, para que suba por capilaridad. Los excesos de aporte de la solución se evacuan por drenaje por la parte inferior (Castilla, 2004).

Otro sistema de cultivo es la subirrigación, que se emplea para plantas en maceta. Respecto a la disposición del sustrato puede hacerse de diversas formas entre las que cabe citar:

- 1) En zanja, aislada del suelo por una lámina plástica, empleada con sustratos pesados como la arena.
- 2) En canaleta, apoyada sobre el suelo (con arena, perlita,...).
- 3) En caso de plástico relleno de sustrato y apoyado sobre el suelo (perlita,...).

4) En planchas preembaladas con lámina plástica, empleado en lana de roca y fibra de coco.

5) En macetas o contenedores (Castilla, 2004).

2.5 Propiedades físicas

Las características físicas de los sustratos son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinan la disponibilidad de oxígeno, movilidad del agua y facilidad para la penetración de la raíz.

Un aspecto que se debe considerar al referirse a las características físicas de un sustrato, es la imposibilidad de modificar alguna de estas propiedades posteriormente a la colocación de la planta dentro del contenedor (Calderón, 2005).

En general, las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse, de forma sencilla, a partir de las características de los materiales que lo conforman, pues éstos varían significativamente de una zona a otra. Además, las mezclas de los distintos materiales producen complejas interacciones que alteran las propiedades físicas de la mezcla final (Ansorena, 1994).

Las propiedades de los sustratos, así como su determinación, se han vuelto más importantes a medida que ha aumentado la cantidad de nuevos materiales empleados en su conformación (Verdonck *et al.*, 1983). Éstos incluyen materiales orgánicos como cortezas, compost de diversos orígenes, fibra de coco y subproductos agroindustriales (Mollitor *et al.*, 2004).

2.5.1 Características granulométricas

La gran mayoría de los sustratos están constituidos por una mezcla de partículas de tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos varían en función de la distribución del tamaño de estas partículas, por lo que la caracterización granulométrica de los materiales es de vital importancia. El tamaño de las partículas incide directamente sobre el tamaño de poros, lo que a

su vez determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1988).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 10 mm retienen cantidades muy reducidas de agua y presentan muy buena aireación. Por el contrario, los materiales finos, con partículas inferiores a 0.2 mm retienen grandes cantidades de agua, la cual es difícilmente disponible para la planta y por lo regular están mal aireación. En cuanto a este parámetro, es recomendable que el sustrato tenga una mezcla de partículas que van de 0.2 a 2.5 mm de diámetro, ya que en este rango se retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, una adecuada aireación (Raviv *et al.*, 1986). En la práctica esta determinación se expresa como el índice de grosor (IG) definiéndose como el porcentaje del material con un diámetro superior a 1 mm (Richards *et al.*, 1986; Abad y Noguera, 1998). Este índice se ha usado mas que todo para estratos en los que predominan partículas finas, de naturaleza orgánica principalmente, en cuyo caso se ubica la fibra de coco y la corteza de pino (Castellanos, 2004).

Las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución de tamaños de partícula, así por ejemplo, una mezcla de tamaños finos y gruesos propicia aumentos en la capacidad de retención de agua, pues las partículas pequeñas ocupan los sitios vacíos que quedan entre las partículas grandes, favoreciendo la capacidad de retención de agua (Ansorena, 1994).

Un estudio fracciones granulométricas en mezclas de corteza de pino, concluye que la fracción menor de 0.5 mm de diámetro presenta la máxima influencia sobre la porosidad y retención de agua (Handreck, 1983). Por su parte Noguera *et al.* (1999) indican que la máxima influencia sobre la retención de agua de la fibra de coco ocurre por debajo de 0.75 mm de diámetro y no de 1 mm como fue considerado por Richards *et al.* (1986) para establecer el concepto de índice de grosor. Por esta razón la Unidad de Horticultura Protegida del INIFAP ha venido trabajando en la caracterización granulométrica de los sustratos usados en México incluyendo los rangos de 0.50- 0.75 y 0.75-1.00 mm, que no estaban

incluidos en la mayoría de los trabajos de caracterización granulométrica reportados en la literatura.

En algunas ocasiones un sustrato ha mostrado pobre desempeño en la producción hortícola, pero la razón no siempre se le puede adjudicar al sustrato mismo, sino que es la inapropiada mezcla de partículas finas y gruesas, lo que ha propiciado esta situación (Castellanos, 2004).

Es importante destacar que la variabilidad que ocurre con la granulometría de los sustratos, afecta sus propiedades físicas, por lo que antes de iniciar con cualquier determinación para caracterizar un sustrato, primeramente hay que determinar sus características granulométricas (Castellanos, 2004). Noguera *et al.* (2000) evaluaron la variabilidad de la fibra de coco, y reportan que la fibra de coco con un IG de 22, es decir que el 22% del peso de la muestra tiene un diámetro de partículas mayor a 1 mm, presenta una capacidad de retención de agua (CRA) de 64%, mientras que otra muestra con un IG de 43, presenta una CRA de 42% y una tercera muestra que reportó un IG de 62 presentó una CRA de solo 25%. Estos datos explican la variabilidad que suele ocurrir en este sustrato, pero no por ello deja de ser uno de los más prometedores sustratos en México y a precios muy accesibles. Las muestras procesadas en la industria de la fibra de coco en Colima, en realidad están generando productos muy homogéneos, dado el control de calidad que se realiza y la exigencia de los importadores de los Estados Unidos (Castellanos, 2004).

2.5.2 Humedad y materia seca

La determinación de humedad es vital para hacer la caracterización física y química de un sustrato, pues la muestra que se usará para caracterizarlo no puede ser secada a la estufa, pues eso alteraría totalmente sus propiedades físicas y en algunas ocasiones, las químicas. Por ello se toma una submuestra que será usada solo para la determinación de humedad y luego será descartada. A partir de este punto se usará el dato de porcentaje de materia seca para hacer cualquier determinación que involucre el peso de la muestra (Castellanos, 2004). Ansorena (1994) recomienda el siguiente procedimiento para determinar la

humedad y materia seca de un sustrato. Se usa un recipiente seco y tarado (T) y se pesan 50 g de muestra con precisión de 0.1 g. Se coloca la muestra en una estufa de aire forzado a una temperatura de 105° C hasta peso constante (T+MS) y luego se coloca la muestra en un desecador para conseguir su enfriamiento. El cálculo de la humedad y la materia seca se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Humedad (\%)} = \left(\frac{(T+M) - (T+MS)}{(T+M) - T} \right) 100 \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

$$\text{MS (\%)} = \left(\frac{(T+MS) - T}{(T+M) - T} \right) 100 \dots\dots\dots \text{Eq. 2}$$

2.5.3 Densidad aparente

La densidad aparente (DA) se define como la masa del material (en base seca) por unidad de volumen, cuya determinación se realiza bajo las condiciones de humedad normal del material (Martínez, 1992). En el mismo sentido se denomina densidad aparente de un sustrato, al peso seco del mismo por unidad de volumen que incluyen todos los espacios ocupados por el aire y los materiales orgánicos. Esta característica es frecuentemente utilizada para estimar la capacidad total de almacenaje de aire y agua del medio de cultivo y su grado de compactación (Hillel, 1982; Miller y Donahue, 1995; Ansorena, 1994).

El método mas usado para determinar la densidad aparente es el descrito por De Boodt *et al* (1974), que utiliza un lecho de arena y una succión de 10 cm de columna de agua, pero para fines prácticos un método mas sencillo es el descrito por la norma inglesa y el cual puede ser usado incluso en la propia explotación agrícola. Este método alternativo consiste en usar un cilindro calibrado de un litro de capacidad y de un collar de extensión que se adapta a la

parte superior. Se pesa el cilindro en una balanza y se instala el collar de extensión y el embudo. Se pasa la muestra tamizada por un tamiz de 19 mm de apertura y cayendo sobre el cilindro hasta llenar el recipiente hasta la base superior del collar. Enseguida se retira el tamiz y el embudo y se aplica en la parte superior de la muestra o cilindro, un peso de 650 gr por tres minutos. Pasados los tres minutos se retira el peso y el collar y con un cuchillo o espátula se retira el exceso de muestra por encima del borde superior del cilindro, asegurándose que no se produce una compactación adicional (Ansorena, 1994). Se pesa el cilindro lleno con precisión al gramo y la densidad aparente D_a se calcula a través de la siguiente expresión:

$$D_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{M1 - M0}{V} MS \dots\dots\dots \text{Eq. 3}$$

Donde M_1 y M_2 son los pesos en gramos del cilindro lleno y vacío y MS es el contenido de materia seca en base a una fracción de uno. Como la D_a se expresa en base seca, se debe determinar la humedad de la muestra. Para determinar la humedad de la muestra, se deberá tomar una sub-muestra adicional y en ella se determinará la humedad, la cual se obtiene hasta obtener peso constante a una temperatura de 105° C. Esta muestra deberá ser desechada y no usarse para otros propósitos en la caracterización del sustrato.

La densidad aparente juega un papel vital sobre la porosidad, ya que junto con la densidad real del material se usan como parámetros para calcular esta variable. Este parámetro también juega un papel en los costos de transporte y manejo del sustrato, ya que un material de muy baja densidad cuesta mucho su transporte y debe de ser compactado hasta el punto en que pueda recuperar sus características originales. Así se puede reducir parcialmente el costo de transporte de estos materiales. La densidad aparente de los sustratos que se usan en la horticultura van desde 0.03 hasta 0.75 g.cm⁻³ (Handreck y Black, 1991; Abad y Noguera, 2000), las mas bajas densidades son para los sustratos orgánicos. Los sustratos de muy baja densidad no tienen la resistencia requerida

para soportar una planta adulta, pero como en el invernadero las plantas son tutoradas, pues esto no tiene mucha importancia, pero cuando se trata de plantas en maceta que se pueden acamar por su peso, es importante tomar esto en cuenta y se recomienda tener densidades aparentes superiores a 0.5 g.cm^{-3} .

Adicionalmente un sustrato con baja densidad aparente resulta económicamente beneficioso, debido a que mejora significativamente la capacidad operacional del medio de cultivo, disminuyendo los costos de transporte y manipulación de materiales (Abad, 1993b).

2.5.4 Densidad real

La densidad real (DR) es la relación entre la masa del material sólido seco (a 105° C) y el volumen real ocupado por las partículas que lo conforman, excluyendo el espacio poroso entre las mismas. La densidad real de los materiales inorgánicos se determina en forma directa por métodos picnométricos (Ansorena, 1994). En el caso de los materiales orgánicos, ésta se estima indirectamente a partir de los contenidos de materia orgánica y su contenido de cenizas (De Boodt *et al.*, 1974). En forma general, la densidad real de los materiales minerales se podría considerar alrededor de 2.65 y de los orgánicos alrededor de 1.5 g.cm^{-3} (Castellanos, 2004).

2.5.5 Espacio poroso total

La porosidad de un sustrato consiste en el volumen total no ocupado por partículas sólidas, minerales u orgánicas (Hillel, 1982; Burés, 1997)

La administración de flujo de agua y aire dentro de un sustrato dependerán, principalmente, de la calidad del espacio poroso del medio. Sin embargo, no es suficiente que el sustrato posea una elevada porosidad total, sino que es necesario que ésta se encuentre convenientemente repartida entre poros de gran tamaño o macroporos, que se hallan ocupados por aire, y poros de menor tamaño o microporos que alojan agua en su interior (Ansorena, 1994).

Al igual que en pleno suelo, los poros en un sustrato están determinados por la irregularidad en la forma de sus partículas primarias y agregados, implicando una alta heterogeneidad en el tamaño, forma y dirección de los mismos (Miller y Donahue, 1995).

La porosidad se asocia, con la capacidad del sustrato para suministrar aire a la raíz. Finalmente el éxito de una explotación hortícola estará dado por una serie de factores climáticos, fitosanitarios, nutricionales y por el adecuado suministro de agua y oxígeno al sistema radical. De acuerdo con Abad *et al.* (1993), el nivel óptimo del Espacio Poroso Total en los sustratos se ubica por encima del 85%. Entre más alta es la porosidad de un sustrato mayor será su capacidad para retener agua, así como su capacidad de aireación. La porosidad total se puede dividir en micro porosidad o poros capilares, que son aquellos de menos de 30 μm y son los que retienen el agua y la macro porosidad o poros no capilares de más de 30 μm que se vacían después que el sustrato ha drenado y permiten la aireación del mismo (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1988). Es importante recalcar que una alta porosidad total no implica necesariamente un sustrato con buena aireación, si no que es necesario conocer la relación entre la fracción de la porosidad que se encarga de alojar el agua después del riego y la fracción que es drenada después de éste y que es la que proporciona la aireación al sistema radical del cultivo (Castellanos, 2004).

2.5.6 Características de retención de agua de los sustratos

Con el fin de comprender más fácilmente estas características de los sustratos es importante saber que la fuerza con que un suelo o sustrato retiene el agua, se denomina fuerza matricial y se mide en unidades de tensión o presión negativa. El potencial matricial se consigue aplicando una presión negativa o tensión (succión). Mientras que en los sustratos se manejan tensiones de 0 a 10 kPa o centibares, en el riego por goteo regularmente se maneja una tensión de humedad de 0-30 kPa y en el riego por gravedad ésta se maneja en un rango de 0 a 1000 kPa o alrededor de 10 atmósferas, que es cuando el suelo está bastante seco y muy cercano a que se le de un riego de auxilio (Castellanos, 2004).

Para caracterizar un sustrato y definir las estrategias de manejo del riego en el cultivo, es vital conocer el volumen ocupado por las fracciones sólida, acuosa y gaseosa, así como su variación en función del potencial matricial aplicado. Solo así es factible conocer como funciona este medio para el crecimiento de las raíces y para el abastecimiento de agua y elementos nutritivos al cultivo (Castellanos, 2004).

La metodología más ampliamente utilizada en la determinación de las relaciones hídricas de los sustratos y reportada por varios autores (Bunt, 1988, Abad *et al*, 1993; Ansorena, 1994; Burés, 1997) fue desarrollada hace casi 30 años, por De Boodt *et al* (1974), la cual ha sido adaptada y perfeccionada por los autores arriba citados. Mediante esta metodología, se definen una serie de parámetros de humedad y aireación, como son:

2.5.6.1 Capacidad de aireación

Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo ocupado por aire, después de que éste ha sido saturado con agua y dejado drenar, generalmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la Capacidad de Aireación, según Abad., *et al* (1993) oscila entre el 20 y 30 % en base volumen. Este parámetro es de gran importancia, pues en un medio tan dinámico como es el sustrato y con un cultivo trabajando a la máxima capacidad, las raíces requieren de un alto suministro de oxígeno para mantener su actividad metabólica y crecimiento. Por ello un déficit de oxígeno, aun cuando sea temporal, puede reducir el crecimiento de las raíces, la absorción de agua y de elementos nutritivos y afectar el desempeño del cultivo. Por otro lado, condiciones de falta de agua provocan de igual manera un pobre desempeño del cultivo y condiciones de falta y exceso de agua en forma intermitente, suelen provocar la muerte de algunas raíces (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1988).

Las plantas necesitan oxígeno para respirar, por lo cual desde el punto de vista de la planta una condición óptima es aquella donde el intercambio gaseoso con la atmósfera es rápido. Tasas de intercambio por sobre los $40 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

resultan suficientes para la mayoría de las especies cultivadas (Miller y Donahue, 1995; Nelson, 1998).

La utilización de sustratos en contenedores de volumen reducido modifica las propiedades de aireación y retención de agua del medio, afectando el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (Nicolas y Cruziat, 1992; Hsu *et al* 1996).

Múltiples investigaciones han encontrado importantes diferencias en la capacidad de intercambio gaseoso al modificar la naturaleza de los materiales del sustrato. Sustratos a base de cortezas, fibras de madera, perlita y turba, han mostrado algún grado de dificultad al paso del aire, debido al pequeño tamaño o discontinuidad de sus poros (Caron y Nkongolo, 1999).

2.5.6.2 Agua fácilmente disponible

El agua fácilmente disponible es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado 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 carga de agua. La razón de usar este rango entre 10 a 50 cm de carga, se debe a que la tensión matricial que ocurre con 10 cm de carga de agua permite suministrar suficiente aireación para satisfacer la actividad metabólica de la raíz, y por otro lado a una tensión matricial de más de 50 cm de carga de agua puede afectar el desarrollo de la planta (Bunt, 1974; De Boodt *et al.*, 1974; De Boodt, 1975).

Un sustrato puede presentar una pobre retención de agua fácilmente disponible cuando:

- 1) Su porosidad total es baja.
- 2) los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad.
- 3) los poros son muy pequeños y la planta no es capaz de extraer una parte importante del agua.
- 4) existe una elevada concentración de sales en la solución acuosa.

5) una combinación de las situaciones anteriores (Abad, 1993; Ansorena, 1994).

Es importante destacar que los métodos de determinación de las relaciones hídricas de los sustratos difieren de los métodos utilizados en los suelos. Mientras que en los suelos el rango de tensión en el cual existe agua disponible para el cultivo va de 0.1 a 1.5 MPa, en el caso de los sustratos este rango normalmente va de 0.01 a 0.05 MPa. Dado que en el caso de los cultivos hortícolas en un invernadero son manejados en su óptima condición y que el tamaño de los contenedores es relativamente pequeño las plantas no deben ser sometidas a tensiones de humedad mayores a 0.05 MPa. Esto equivale a la tensión que desarrolla una columna de agua de 50 cm de altura (Castellanos, 2004).

En resumen, a tensiones menores a 10 cm de carga de agua, podría faltar oxígeno para la raíz y a tensiones mayores de 50 cm de carga, el agua es retenida fuertemente por los microporos del sustrato y la planta tendría que hacer un gran esfuerzo por absorberla (Castellanos, 2004). Abad *et al.* (1993) han sugerido que el valor óptimo de agua fácilmente disponible oscila entre 20 y 30% del volumen del sustrato.

2.5.6.3 Agua de reserva

El agua de reserva (AR) es la cantidad de agua en volumen, que libera un sustrato al pasar de una tensión de 50 a 100 cm de carga de agua. El nivel óptimo se sitúa entre 4 y 10% en volumen (Abad *et al.*, 1993). El agua contenida a tensiones mayores de 100 cm de carga de agua es muy poco accesible para el cultivo, por estar fuertemente retenida por el sustrato.

2.5.6.4 Agua total disponible

El agua total disponible (ATD) se define como la suma del agua fácilmente disponible y el agua de reserva (Martínez, 1992). Su valor óptimo va del 24 al 40% del volumen del sustrato (Abad *et al.*, 1993).

2.5.6.5 Agua difícilmente disponible

Es el volumen de agua que queda retenida por el sustrato a una tensión de 100 cm de carga de agua (Martínez, 1992) y podría ser utilizada en condiciones de estrés hídrico (Abad, 1995; Abad y Noguera, 1998).

2.5.6.6 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA), se define como el contenido máximo de agua que puede retener un sustrato una vez que éste se ha saturado y ha cesado el drenaje (Bunt, 1998; Handreck y Black, 1991; Martínez *et al.*, 1991). La capacidad de retención de agua, depende de las características físicas del sustrato y de la altura del contenedor, entre más alto es el contenedor menor será la retención de agua y mayor será la cantidad de aire a disposición de las raíces, y viceversa (Fonteno, 1989).

El agua cumple un papel fundamental en la dinámica del continuo sustrato-planta-atmósfera, debido a su participación en la mayoría de los procesos metabólicos de la planta. Además, el agua favorece la penetración de las raíces, a través de la lubricación del sustrato, y permite la absorción de los elementos nutritivos (Calderón, 2005).

Dentro de un sustrato, el agua es retenida de dos formas, como una delgada película que envuelve las partículas y agregados, adsorción, o en fase líquida dentro de los poros de menor tamaño (Hillel, 1982). La cantidad total de agua retenida por un sustrato en un contenedor dependerá de la proporción de poros de pequeño tamaño y del volumen del contenedor. Sin embargo, aunque la retención de agua sea elevada, puede ocurrir que una parte de ésta se encuentre adsorbida a las partículas del sustrato con una fuerza superior a la succión o tensión que la planta es capaz de ejercer, por lo que no se encontrará disponible. Interesa conocer, por tanto, la cantidad de agua disponible en el sustrato, la que dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa (Ansorena, 1994).

2.6 Propiedades químicas de los sustratos

El sustrato ideal no sólo debe estar exento de sustancias tóxicas, especialmente de materiales pesados, sino que debe ser, además químicamente inerte, lo que no ocurre en muchos casos (sustratos orgánicos) (Castilla, 2004).

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato; reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacción de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica) (Urrestarazu, 2004).

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido principalmente a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Urrestarazu, 2004).

2.6.1 Materia orgánica y ceniza

La determinación de materia orgánica y ceniza en un sustrato orgánico, sirve entre otras cosas para calcular la relación carbono/nitrógeno y para prever algunas otras características como la capacidad de retención de agua y elementos nutritivos (Castellanos, 2004).

La determinación de carbono orgánico en la muestra se puede estimar multiplicando el contenido de materia orgánica (%) por 1.82, que es un factor empírico para estimar este parámetro basado en la determinación de ceniza (Castellanos, 2004).

2.6.2 pH

El pH ejerce efectos muy importantes sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos en el sustrato, así como sobre su capacidad de intercambio catiónico y su actividad biológica (Raviv *et al.*, 1986, Bunt, 1988); bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH (pasta saturada) del sustrato entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993). Cuando el pH del sustrato es menor a 5.0 en

los cultivos pueden presentarse deficiencias de K, Ca, Mg, y B, mientras que por encima de 6.5 puede disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y Cu (Peterson, 1981). En el caso de algunos sustratos orgánicos como la turba, que tiene en forma natural un pH muy ácido, éste debe de ser neutralizado con carbonato de calcio para poder ser usado como sustrato (Castellanos, 2004).

Algunos materiales pueden ser acidificantes o provocar una reacción básica en la solución, como ocurre con la lana de roca al principio del cultivo, lo que se corrige aportando una solución nutritiva más ácida en el inicio del cultivo (Castilla, 2004).

2.6.3 Salinidad

Algunos sustratos contienen una salinidad muy elevada, como es el caso de la fibra de coco. En la actualidad la mayoría de la fibra de coco que se comercializa ha pasado por un proceso de lavado hasta reducir su salinidad a menos de 2 dS/m^{-1} . Sin embargo estas fibras de coco llegan al productor a un costo muy elevado y la salinidad se puede eliminar simplemente mediante un proceso de lavado en los mismos contenedores previo a la siembra de las plántulas en el invernadero. Las condiciones de manejo del riego y drenaje también pueden incrementar la salinidad en el sustrato, lo cual ocurre cuando se manejan fracciones de drenaje por debajo del 20-30% y en tal caso la solución es el lavado del sustrato (Castellanos, 2004).

La salinidad en los sustratos puede alterarse por un desequilibrio entre absorción (más lixiviación) y aportes o por la elevada CIC del sustrato, por lo que el seguimiento de la CE de la solución es imprescindible (Castilla, 2004).

2.6.4 Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso o de volumen del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente a la lixiviación del agua y están disponibles para la planta (Urrestarazu, 2004).

Los sustratos con CIC nula o muy baja serán los más adecuados para la producción de cultivos. La CIC es importante en sustratos orgánicos y conviene antes de usar el sustrato aportes de calcio, a fin de minimizarla, para que no altere la disponibilidad de elementos nutritivos programada en la fertirrigación.

En general, un buen sustrato debe tener una buena estabilidad química, que evite cualquier liberación de elementos que puede generar problemas de salinidad o fitotoxicidad, o inducir en la solución precipitaciones indeseables (Castilla, 2004).

El valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada a elevada capacidad de intercambio catiónico, en todo caso superior a $20 \text{ meq-}100 \text{ g}^{-1}$ (Urrestarazu, 2004).

Los materiales orgánicos presentan una elevada capacidad de intercambio catiónico y una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los elementos nutritivos y en el pH. Una capacidad de intercambio catiónico elevada constituye un depósito de reserva para los elementos nutritivos, mientras que los materiales con baja capacidad de intercambio, como la mayoría de los sustratos minerales, retienen cantidades reducidas de elementos nutritivos y requieren una aplicación frecuente y regular de los fertilizantes (Urrestarazu, 2004).

La materia orgánica, especialmente las sustancias húmicas, contienen grupos funcionales cargados negativamente (carboxílico, fenólico, enólico, etc.), que son los responsables de la capacidad de los materiales orgánicos para retener los cationes en forma no lixiviable. Durante el proceso de intercambio catiónico, los iones orgánicos cargados negativamente son capaces de adsorber cationes (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , etc,) en proporciones variables, en función

de la afinidad del catión por los centros de adsorción y de su concentración en la disolución. La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende de su pH: cuanto más alto es su pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico (Urrestarazu, 2004).

En el caso de materiales orgánicos la CIC puede ir de 50 a 100 meq-100 g⁻¹, mientras que el de los materiales minerales esta puede ir de 0 a 10 meq-100 g⁻¹ de sustrato (Castellanos, 2004).

2.7 Propiedades biológicas de los sustratos

2.7.1 La bioestabilidad

La bioestabilidad es la principal propiedad biológica y se refiere a la estabilidad de un sustrato orgánico frente a los organismos que lo pueden degradar (Lemaire, 1997). Esta propiedad permite saber si un sustrato orgánico permanece sin alterar o con poca alteración durante el ciclo de un cultivo. Para conocer si un material ha sufrido alteración biológica se cuantifica el contenido de materia orgánica inicial y después de un tiempo (varios meses), y estimar el grado de degradación del material utilizado. El contenido de materia orgánica se determina por calcinación (Ansorena, 1994).

La bioestabilidad se refiere a propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando éstos no son de síntesis son inestables termodinámicamente y, por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis, o bien, por la acción de microorganismos (Burés, 1999).

Los sustratos de origen mineral son biológicamente inertes, lo que no ocurre con los sustratos orgánicos, que son biodegradables, pudiendo inducir liberación de amoníaco o de sustancias fitotóxicas o estimulantes. Hay que evitar el uso de sustratos orgánicos con alta biodegradabilidad. Con el uso todos los sustratos van acumulando restos de raíces, que se degradan (Castilla, 2004).

La relación carbono/nitrógeno (C/N) ha sido propuesta como índice de estabilidad biológica de los sustratos de origen orgánico. Una relación C/N entre

20 y 40 es considerada adecuada para el cultivo en sustrato (Abad y Noguera, 1998).

2.7.2 Velocidad de descomposición

Todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables, son susceptibles a degradación biológica, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los sustratos de cultivo, considerada de forma global, es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, proteínas, etc.) determina la velocidad de descomposición. Desde un punto de vista práctico se puede reducir el contenido relativo de dichas sustancias mediante compostaje y, también, manteniendo niveles suficientes de nitrógeno asimilable. Las condiciones de cultivo deberían ser también consideradas: si el cultivo se prolonga durante largos periodos de tiempo, resulta recomendable el uso de materiales más estables (turbas negras), mientras que si las plantas son de crecimiento rápido pueden prosperar en materiales menos resistentes a la degradación (turbas rubias) (Urrestarazu, 2004).

2.7.3 Actividad reguladora del crecimiento

Es conocida la existencia de actividad auxínica en los extractos de muchos materiales orgánicos utilizados en los medios de cultivo de las plantas. Ya que dicha actividad hormonal no ha podido ser relacionada directamente con las sustancias húmicas, se ha atribuido a un efecto sinérgico entre las auxinas y los compuestos fenólicos que están presentes en dichos materiales, como consecuencia de la degradación de los compuestos orgánicos, especialmente lignina (Urrestarazu, 2004).

2.8 Características del sustrato ideal

Una cuestión que se plantea frecuentemente es: ¿existe el sustrato “ideal” en cuanto a constituyentes o composición? La respuesta obvia es no. El mejor sustrato de cultivo para cada caso concreto variará de acuerdo con numerosos factores: tipo de material vegetal con el que se trabaja (plantas, semillas, estacas, etc.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc. (Urrestarazu, 2004).

Primeramente es necesario definir para que se usara el sustrato, pues puede ser usado para la producción de plántula o para la producción hortícola o bien para macetas de plantas de ornato y cada destino requiere de propiedades diferentes del sustrato. También es importante la homogeneidad del sustrato, pues de acuerdo a la fuente, ésta puede variar mucho en sus propiedades físicas, lo que dificulta su manejo. Es importante el costo de adquisición y el de transporte, pues por sus bajas densidades es costoso transportar volumen en lugar de peso. También es importante que los productores tengan experiencia acerca en su manejo. Como ha sido en algunas ocasiones el caso de la fibra de coco, que es un excelente sustrato cuyo manejo está en proceso de ser aprendido por los productores. También es importante la facilidad de desecharlo, pues un sustrato como la lana de roca, representa dificultades para manejar su desecho (Castellanos, 2004).

Aunque el mejor sustrato de cultivo varía en cada caso, según las condiciones concretas de empleo, un buen sustrato debe presentar condiciones físicas aceptables (con elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente aireación, baja densidad aparente, alta porosidad total y estabilidad de características y de estructura) así como buenas propiedades químicas y biológicas (escasa o nula CIC, salinidad reducida, pH ligeramente ácido y estabilidad biológica) (Abad y Noguera, 1998).

Las plantas pueden ser sostenidas y cultivadas en diferentes tipos de materiales. De hecho, las plantas pueden ser cultivadas y sobrevivir en cualquier medio de cultivo si las raíces pueden penetrar en el sustrato. Obviamente, la

supervivencia no es un objetivo fundamental, por lo que han de llevarse a cabo continuas investigaciones a fin de encontrar el sustrato y las condiciones de cultivo óptimas para la mayoría de las especies (Urrestarazu, 2004).

Además, obviamente, el sustrato debe tener un costo (en el cual el transporte es muy importante) acorde con sus prestaciones. La disponibilidad del sustrato en el ámbito local suele ser determinante en la elección. No hay que olvidar que la elección del sustrato debe estar de acuerdo con el nivel tecnológico del invernadero, especialmente con el sistema de fertirrigación (Urrestarazu, 2004).

2.8.1 Propiedades físicas

Son determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento. Algunas de las más destacadas son:

a) Densidad real y aparente, b) distribución granulométrica, c) porosidad y aireación, d) retención de agua, e) permeabilidad, f) distribución de tamaños de poros, g) estabilidad estructural (Pastor, 1999).

2.8.2 Propiedades químicas

Las propiedades vienen definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Entre las características químicas de los sustratos destacan:

a) Capacidad de intercambio catiónico, b) pH, c) Capacidad tampón, d) Contenido de elementos nutritivos, e) Relación C/N (Pastor, 1999).

2.8.3 Propiedades biológicas

Propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando éstos no son de síntesis son inestables termodinámicamente y, por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis, o bien, por la acción de microorganismos (Burés, 1999). Entre las características biológicas destacan:

a) Contenido de materia orgánica.

b) Estado y velocidad de descomposición (Pastor, 1999).

2.9 Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc., (Urrestarazu, 2004).

2.9.1 Según sus propiedades

El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. Entre los diferentes criterios de clasificación de los sustratos, merece ser destacado en el que se basa en las propiedades de los materiales:

2.9.1.1 Químicamente inertes

Entre los que se encuentra la arena granítica o silícea, grava, perlita, lana de roca, etc.

2.9.1.2 Químicamente activos

Entre los que se encuentran las turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales lignocelulósicos, etc.

La diferencia entre materiales químicamente inertes y químicamente activos viene determinada por la capacidad de intercambio catiónico, una propiedad físico-química directamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de elementos nutritivos por parte del sustrato. En el primer caso (materiales químicamente inertes), el material actúa única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los elementos nutritivos. El cultivo en este tipo de sustratos es en la práctica un verdadero cultivo hidropónico, exigiendo una avanzada tecnología de las instalaciones y una elevada especialización del personal. En el segundo caso (materiales químicamente activos), el sustrato, además de soporte para la planta, actúa como depósito de reserva de los elementos nutritivos aportados mediante la

fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal (InfoAgro, 2004).

2.9.2 Según el origen de los materiales

Desde el punto de vista de su utilización hortícola, los sustratos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos o minerales. Los sustratos orgánicos pueden ser de origen natural (turberas) o sintético (espuma de poliuretano), incluyendo también a diversos subproductos de origen natural (aserrín, fibra de coco,...). Los sustratos minerales pueden ser de origen natural (arena, grava,...) o transformados artificialmente (lana de roca, perlita,...), incluyendo en este grupo diversos subproductos industriales (escorias de altos hornos,...) (Castilla, 2004).

2.9.2.1 Materiales orgánicos

De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turberas).

De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).

Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de composteo, para su adecuación como sustrato. Ejemplos de estos materiales son: orujo de uva, corteza de árboles, aserrín y virutas de madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, cascarilla de arroz, paja de cereales, fibra de coco, etc., (Urrestarazu, 2004).

2.9.2.2 Materiales inorgánicos o minerales

De origen natural, se obtiene a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).

Transformados o tratados industrialmente, obtenidos a partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos – y a veces también químicos -, mas o

menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.).

Residuos y subproductos industriales, comprenden los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.) (Urrestarazu, 2004).

2.10 Descripción general de algunos sustratos

2.10.1 Arena

Todos aquellos materiales cuyas partículas oscilan entre 0.02 a 2 mm de diámetro. La densidad aparente de este material es superior a 1.5 g.cm^{-3} y en general el espacio poroso total es muy similar al de los suelos, por el orden del 50%. Una de las limitantes de este material es su peso, pues dificulta la manipulación de los contenedores por lo mismo. Las partículas con diámetro inferior de 0.5 mm presentan una buena capacidad de retención de agua, pero están pobremente aireadas, en particular cuando la altura del contenedor es reducida. Por el contrario las partículas con diámetro mayor de 0.5 mm presentan una mejor capacidad de aireación y menor capacidad de retención de agua (Abad y Noguera, 2000).

Las arenas y gravas de origen silíceo son preferibles a las de origen calcáreo. Al abundar en todas partes, se han empleado en las épocas iniciales de introducción del cultivo en sustrato. Los calibres más recomendables para la grava oscilan entre 2 y 5 mm. Los materiales gruesos (gravas) exigen una alta frecuencia de riego por su baja capacidad de retención de agua. Las arenas y gravas suelen emplearse en mezclas para macetas al aire libre, pues, debido a su peso, aportan estabilidad a las macetas frente al viento (Castilla, 2004).

Es recomendable que las arenas no contengan materiales finos como arcillas y limo, pues estas partículas finas pueden ser depositadas en la parte baja del contenedor afectando las características del sustrato en dicha porción. Por otro lado no deben de contener apreciables cantidades de carbonatos, por los problemas de disponibilidad de los microelementos y del fósforo que ello conlleva.

En México en algunos invernaderos del noroeste se usan sustratos con suelo usando al menos un 60-80% de arena en una mezcla mediante el uso de una lámina de polietileno para reducir los riesgos fitosanitarios. En cuanto a las características de agua y aire, Martínez y García (1993), citado por Abad y Noguera (2000), indican que en una muestra de arena de 0.5 a 1 mm de diámetro, la densidad aparente resultó de 1.57 g/cm^3 , el espacio poroso total de 42%, la capacidad de retención de agua del orden de 21% y el agua total disponible de 19%. En algunos casos se mezclan con materiales orgánicos para compensar la baja capacidad de retención de agua (Castellanos, 2004).

2.10.2 Turba

Las turbas son materiales orgánicos procedentes de la descomposición de plantas pantanosas. Suelen estar libres de patógenos, a pesar de su origen orgánico, pero tienen los inconvenientes de una elevada CIC, de contraerse fuertemente al secarse y ser de difícil rehumectación (Castilla, 2004).

Las turbas rubias tienen propiedades físicas excelentes y se rehumedecen fácilmente, por lo que son adecuadas para el cultivo sin suelo en macetas. Las turbas negras están más descompuestas que las rubias y sus propiedades físicas son peores que las de estas turbas. Ambos tipos suelen emplearse mezcladas con sustratos muy porosos, como la puzolana (Urban, 1997).

Las turbas son restos vegetales en proceso de fosilización y en la actualidad todo el material turbífero que llega a México viene de Canadá y Estados Unidos. La turba que más se usa en horticultura es la turba rubia, la cual presenta una densidad aparente de 0.4 a 0.8 g.cm^{-3} , un espacio poroso de 95 a 97%, una capacidad de aireación de 15 a 40%, una capacidad de retención de agua de 55 a 82%, una capacidad de intercambio catiónico de 100 a 140 meq.100g^{-1} de sustrato. Este material tiene un razonable grado de homogeneidad y a diferencia de otros sustratos orgánicos como la fibra de coco, no presenta salinidad, por lo que no requiere lavado, pero en forma natural presenta un pH muy ácido y debe ser neutralizada mediante la aplicación de carbonato de calcio, actividad que normalmente se realiza antes de su exportación a México. Este

material, se usa muy poco en la producción de hortalizas en el invernadero en México y su uso está restringido a la producción de plántula. Cuando se usa en la producción de hortalizas, es en mezclas con un porcentaje muy bajo con el fin de darle capacidad de retención de agua y elementos nutritivos a los sustratos inertes como el tezontle (Castellanos, 2004).

2.10.3 Fibra de coco

La fibra de coco tiene propiedades cercanas a la lana de roca que a los subproductos forestales, siendo muy empleada en forma de planchas plastificadas y en contenedores de poliestireno para cultivos hortícolas en sustrato, aunque su Capacidad de Intercambio Cationico complica su manejo, respecto a los materiales inertes (García y Deverede, 1994). Existen grandes diferencias cualitativas en la fibra de coco según su procedencia (Castilla, 2004).

La fibra de coco es un sustrato muy prometedor para la horticultura protegida en México, dado a su bajo costo, su facilidad de manejo, su sanidad y la excelente respuesta agronómica que ha mostrado en los cultivos en que se ha evaluado. En México, prácticamente no hay estudios formales sobre su caracterización detallada (Castellanos, 2004). Posadas (1999) en base a una recopilación de trabajos de caracterización fisicoquímica de la fibra de coco indica que ésta presenta una densidad promedio de 0.07 g.cm^{-3} ; una capacidad de retención de agua promedio de 54%; una capacidad de aireación promedio de 46%; un porcentaje de agua fácilmente disponible de 20%; un porcentaje de agua difícilmente disponible de 25%; con un porcentaje de agua de reserva de 4.1%, y con un índice de grosor promedio de 32%.

En cuanto a las propiedades químicas de la fibra de coco, en condiciones vírgenes contiene una alta salinidad que puede ir de 4 a 7 dS.m^{-1} en el extracto saturado. Esta salinidad corresponde principalmente a cloruro de potasio y de sodio, pero con un lavado está se elimina en el mismo saco de cultivo. Presenta una capacidad de intercambio catiónico de 60 a $117 \text{ meq.100 g}^{-1}$ de sustrato. Es un material muy estable, pues puede durar hasta 3 años en explotación, solo

haciendo la desinfección previa a cada cultivo, como en el caso de la lana de roca.

La fibra de coco se comercializa en México en varios sitios, pero destaca la región de Colima y en particular la región de Armería, donde se producen grandes cantidades de este sustrato (Castellanos, 2004).

2.10.4 Tezontle

Es uno de los sustratos más usados en México en los cultivos sin suelo, pero por desdicha es uno de los menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas. La forma en que se ha venido usando es simplemente tamizándolo por una malla de media a una pulgada y todo lo que pase por ella se usa directamente en el llenado de las bolsas (Castellanos, 2004).

2.10.5 Perlita

La perlita es un aluminosilicato que se fabrica a partir de rocas volcánicas vítreas, con densidades originales de 1.5 g.cm^{-3} . En su tratamiento industrial se calienta a temperaturas de 1000° C durante unos minutos y se logra su expansión hasta reducir la densidad aparente a 0.12 g.cm^{-3} (Maroto, 1990). Este sustrato tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja capacidad de intercambio catiónico ($0.15 \text{ meq.}100 \text{ g}^{-1}$ de sustrato), su pH es casi neutro, por lo que es un excelente sustituto de la arena, pero con la ventaja de ser mucho más ligero y de fácil manejo (Fonteno, 1996).

La perlita B-12, es la más usada en la producción hortícola en invernadero, presenta un espacio poroso total en el orden de 85%, una capacidad de aireación de 30%, con 25% de agua fácilmente disponible y un 7% de agua de reserva, con una granulometría de 0.5 mm de diámetro y con una densidad aparente de 0.10 a 0.12 g.cm^{-3} (Castellanos, 2004).

La principal ventaja de la perlita es su capacidad para mantener una humedad uniforme en todo el contenedor del cultivo, es de fácil manejo por su bajo peso y un material inerte y sin problemas de contaminación de patógenos.

Uno de los inconvenientes que tiene, si se puede catalogar como tal, es que cuando accidentalmente se da un grave descenso en el pH de la solución nutritiva, por debajo de 5, puede provocar la liberación del aluminio y causar toxicidad al cultivo, aunque esto es muy eventual que ocurra (Abad, 1995).

2.10.6 Lana de roca

La lana de roca se obtiene a partir de rocas tales como: diabasa y piedras calizas, fundiendo estos materiales a temperaturas de 1600 °C, una vez fundidas se hace pasar por rotores que giran a alta velocidad, formando una fibra, la cual es comprimida en planchas. Es un sustrato inerte, muy uniforme, prácticamente sin capacidad de intercambio de cationes, con una densidad aparente de 0.07 g.cm⁻³, y viene en varias presentaciones, entre las que destaca la de 100x20x10 cm. Este sustrato tiene un espacio poroso total de 97%, una capacidad de aireación de 36% y un porcentaje de agua fácilmente disponible de 59%, pero el agua de reserva es solo 0.3%. Su principal distinción con respecto a otros sustratos es que tiene más del doble de agua fácilmente disponible (Castellanos, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera se encuentra ubicada al suroeste del estado de Coahuila y al noroeste del estado de Durango, localizándose entre los meridianos 101° 40´ y 104° 45´ longitud oeste del meridiano de Greenwich y los paralelos 24° 10´ y 26° 45´ de latitud norte, teniendo además una altura promedio de 1,100 metros sobre el nivel del mar (Santibáñez, 1992).

3.2 Clima de la Comarca Lagunera

La CNA (2002) define el clima de la Comarca Lagunera de tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación promedio entre 200 y 300 mm anuales en la mayor parte de la región, y de 400 a 500 mm en las zonas montañosas al oeste, con una evaporación anual promedio de 2600 mm. Una temperatura anual de 20° C, en los meses de Noviembre a Marzo la temperatura media mensual varía de 13.6° y 9.4° C. La humedad relativa varía en el año, en primavera tiene un valor promedio de 30.1 %, en otoño de 49.3% finalmente en Invierno un 43.1%.

3.3 Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos del Campo Experimental la Laguna (CELALA) del INIFAP, ubicado en el Boulevard José Santos Valdez No. 1200 Pte. Col. Centro, municipio de Matamoros Coahuila, México.

3.4 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con un arreglo bifactorial, donde el factor A fue sustratos inorgánicos perlita y arena, el factor B sustratos orgánicos compost con yeso, compost, vermicompost y Peat moss con cuatro 4 repeticiones cada uno (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Diseño factorial de los tratamientos utilizados. UAAAN UL. 2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos	Tratamientos
Perlita	Compost	1
	Compost con yeso	2
	Peat moss	3
	Vermicompost	4
Arena	Compost	5
	Compost con yeso	6
	Peat moss	7
	Vermicompost	8

3.5 Origen de los sustratos evaluados

Los sustratos inorgánicos evaluados fueron perlita, proporcionado por el Sr. Daniel Sánchez y arena de río. Los sustratos orgánicos evaluados fueron vermicompost de estiércol bovino, proporcionado por el Dr. Alejandro Moreno Reséndez, compost de estiércol bovino con yeso, compost de estiércol bovino, proporcionado por el Sr. Daniel Sánchez y Peat moss, proporcionado por el Ing. Juan de Dios Ruiz de la Rosa.

3.6 Preparación de columnas y mezclas

Se cortaron columnas de PVC de 15 cm. de longitud, se cubrieron en la parte inferior con maya mosquitera plástica y papel filtro. Para preparar la mezcla de un tratamiento se midió un litro de sustrato inorgánico y un litro de sustrato orgánico (relación 1:1 en volumen), se mezclaron bien y con esto se llenaron dos macetas con un litro cada una, este mismo procedimiento se llevo a cabo para llenar las otras dos macetas para completar las cuatro repeticiones; el mismo procedimiento fue para cada uno de los tratamientos.

3.7 Parámetros evaluados

Los parámetros físicos evaluados fueron: capacidad de retención de humedad y densidad aparente. Mientras que, los parámetros químicos fueron: conductividad eléctrica, pH y nitrógeno inorgánico.

3.7.1 Capacidad de retención de humedad

Para determinar la capacidad de retención de humedad, cada una de las macetas de cada tratamiento se pesó en seco y después se les aplicó agua destilada en cantidades de 100 mL. y en cuanto comenzó el goteo del agua en la maceta se suspendió la aplicación de agua, una vez que el goteo cesó se tomó la maceta y se peso otra vez con la ayuda de una balanza electrónica y por diferencia de peso se calculó la retención.

3.7.2 Densidad aparente

En este parámetro el procedimiento que se siguió consistió en medir un litro de cada sustrato, enseguida cada litro de sustrato se dividió en dos partes iguales y se hicieron las mezclas de perlita+compost, perlita+compost con yeso, perlita+ vermicompost, perlita+peat moss, lo mismo se hizo con la arena, enseguida cada una de estas mezclas se peso para obtener la densidad aparente.

3.7.3 Conductividad eléctrica (CE)

Para evaluar la dinámica de sales en las columnas con sustratos, se aplicaron volúmenes de lavado de 100 mL sobre la columna ya saturada; el agua drenada de cada aplicación de 100 mL se colectó en recipientes de plástico y se midió CE, pH y nitrógeno inorgánico (amonio + nitratos). La aplicación de 100 mL de agua se repitió hasta obtener valores bajos de CE, aproximadamente 2 dS/m. El volumen total de lavado fue diferente en cada sustrato. La CE se midió con un conductivimetro portátil marca HORIBA, modelo B-173.

Con el valor de porosidad total de cada sustrato se elaboraron graficas de CE con respecto al volumen de agua filtrada, expresado en términos de volumen poroso (VP) de cada sustrato, de acuerdo con la expresión:

$$V_{f/p} = \frac{\text{Volumen filtrado}}{\text{Volumen poroso del sustrato}}$$

3.7.4 pH

Para este parámetro se usaron los mismos filtrados utilizados para medir la conductividad eléctrica. El pH se midió con la ayuda de un potenciómetro marca ORION modelo 710A.

3.7.5 Nitrógeno inorgánico

En este parámetro, cada uno de los filtrados usados para medir la conductividad eléctrica y el pH se llevaron al laboratorio para su análisis, se utilizó el método de arrastre de vapor con un destilador marca Foss modelo kjeltec 2300.

3.8 Análisis nutrimental de los sustratos orgánicos

Se tomaron muestras de los sustratos orgánicos utilizados en el estudio y se enviaron para realizar análisis de composición química en el Laboratorio del INIFAP- CENID-RASPA.

3.9 Análisis de resultados

En el análisis de datos se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System, 1996) versión 6.12 con el procedimiento anova. Las curvas de regresión que se aplicaron a los resultados se realizaron mediante el programa Microsoft office Excel.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características físicas

4.1.1 Retención de humedad

En esta variable el análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para sustratos inorgánicos y la interacción, mientras que para sustratos orgánicos la diferencia encontrada fue únicamente significativa ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1A). Dado que la interacción fue significativa la interpretación de los efectos principales es irrelevante y únicamente se interpreta las medias de interacción. El sustrato que presentó el más alto contenido de retención de humedad fue el de perlita + vermicompost, pero fue estadísticamente igual al sustrato perlita + compost con yeso con promedios de 59.6 y 57.95% de retención de humedad, respectivamente. Los tratamientos con mas bajos porcentajes de retención de humedad los presentaron arena + compost con yeso y arena + vermicompost con 40.45 y 37.60%, respectivamente (Cuadro 4.1).

Abad *et al.* (1999), citado por Guzmán (2003) consideraron como adecuados materiales con al menos un 50% de capacidad de retención de agua, por consiguiente, los tratamientos: perlita + vermicompost, perlita + compost con yeso, perlita + Peat moss y perlita + compost superan este valor y serian sustratos aceptables ha ser considerados en la producción hortícola en invernadero.

Cuadro 4.1. Valores promedio de la variable retención de humedad (%) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos				Promedio
	Compost	Compost con yeso	Peat moss	Vermicompost	
Arena	42.05 C	40.45 CD	37.80 D	37.60 D	39.47
Perlita	55.85 B	57.95 AB	56.35 B	59.60 A	57.43
Promedio	48.95	49.20	87.07	48.60	

Tratamientos con la misma letra son iguales estadísticamente (DMS \leq 0.05.)

4.1.2 Densidad aparente

En esta variable el análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para sustratos orgánicos, sustratos inorgánicos y la interacción (Cuadro 2A). Dado que la interacción fue significativa la interpretación de los efectos principales es irrelevante y únicamente se interpreta las medias de interacción. El sustrato que presentó una densidad aparente alta fue arena + compost, pero estadísticamente igual al sustrato arena + vermicompost y el sustrato arena + compost con yeso con promedios de 1.21, 1.16 y 1.15 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de densidad aparente, respectivamente. El sustrato con la densidad aparente mas baja fue perlita + Peat moss con un 0.12 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Cuadro 4.2).

Handreck y Black, 1991; Abad y Noguera, 2000, establecen una densidad aparente de 0.03 a 0.75 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para los sustratos, por lo que el sustrato perlita + compost, perlita + compost con yeso, perlita + Peat moss y perlita + vermicompost cumplen con esta condición.

Los sustratos arena + compost, arena + compost con yeso, arena + Peat moss y arena + vermicompost presentan una densidad aparente por arriba de la

recomendada esto se debe a la arena, que presenta una densidad aparente de 1.5 g cm^{-3} , (Abad y Noguera, 2000).

Cuadro 4.2. Valores promedio de la variable densidad aparente (g cm^{-3}) para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos				Promedio
	Compost	Compost con yeso	Peat moss	Vermicompost	
Arena	1.21 A	1.15 A	0.98 B	1.16 A	1.13
Perlita	0.46 CD	0.42 D	0.12 E	0.48 C	0.37
Promedio	0.83	0.79	0.55	0.82	

Tratamientos con la misma letra son iguales estadísticamente ($\text{DMS} \leq 0.05$.)

4.2 Propiedades químicas

4.2.1 Composición nutrimental de los abonos orgánicos

En el cuadro 4.3 podemos observar el contenido nutrimental de cada sustrato, en lo referente a elementos mayores el contenido más alto de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio los presentan la composta con yeso y la composta sin yeso, teniendo un contenido más alto la composta sin yeso a excepción del calcio. El contenido más alto en magnesio lo presenta la composta sin yeso.

Con respecto al contenido de elementos menores la composta sin yeso fue la que presentó los contenidos más altos de zinc, manganeso y cobre y la vermicomposta fue la que presentó el mayor contenido de boro. En general el peat moss fue el sustrato que presentó el contenido más bajo de elementos mayores (nitrógeno, potasio, calcio, magnesio) y de elementos menores (zinc, boro, etc.)

Cuadro 4.3. Análisis nutricional de los sustratos orgánicos. UAAAN-UL.2009.

Macroelementos	Sustratos orgánicos			
	Peat moss	Vermicompost	Compost	Compost con yeso
Nitrógeno total (%)	1.51	1.11	1.92	1.89
Fósforo total (%)	0.496	0.434	1.530	0.980
Potasio total (%)	0.360	1.390	2.870	2.280
Calcio total (%)	2.86	4.79	5.34	6.37
Magnesio total (%)	0.14	0.74	1.17	0.71
Azufre total (%)				
Sodio total (%)	0.06	0.18	0.90	0.66
Microelementos				
Zinc (Zn, mg.kg ⁻¹)	73.0	158.0	516.0	305.0
Manganeso (Mn, mg.kg ⁻¹)	58.0	396.0	632.0	394.0
Cobre (Cu, mg.kg ⁻¹)	36.0	35.0	349.0	160.0
Boro (B, mg.kg ⁻¹)	101.0	231.0	167.0	131.0

4.2.2 Conductividad eléctrica

En las figuras del 4.1 a 4.8 se aprecia que la conductividad eléctrica de cada tratamiento descendió conforme el V_{fp} de cada sustrato aumentó. Los datos se ajustaron a una regresión exponencial para todos los tratamientos, con un muy buen ajuste en todos los tratamientos considerando al coeficiente de determinación (R^2) como criterio. El R^2 osciló de 0.810 a 0.988, el mejor ajuste lo presentó el sustrato arena + vermicompost y el menor fue perlita + compost.

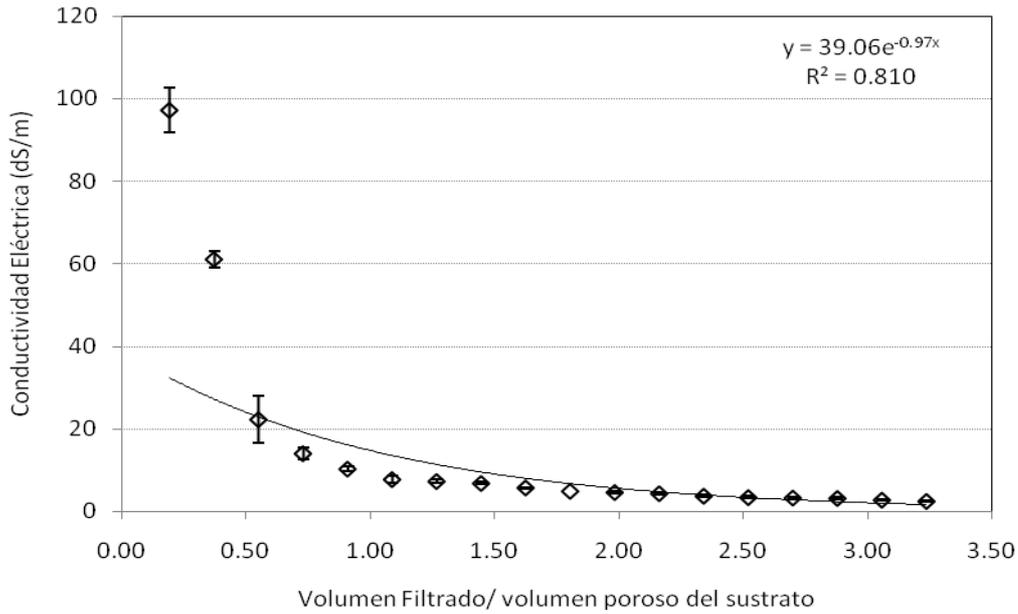


Figura 4.1. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.

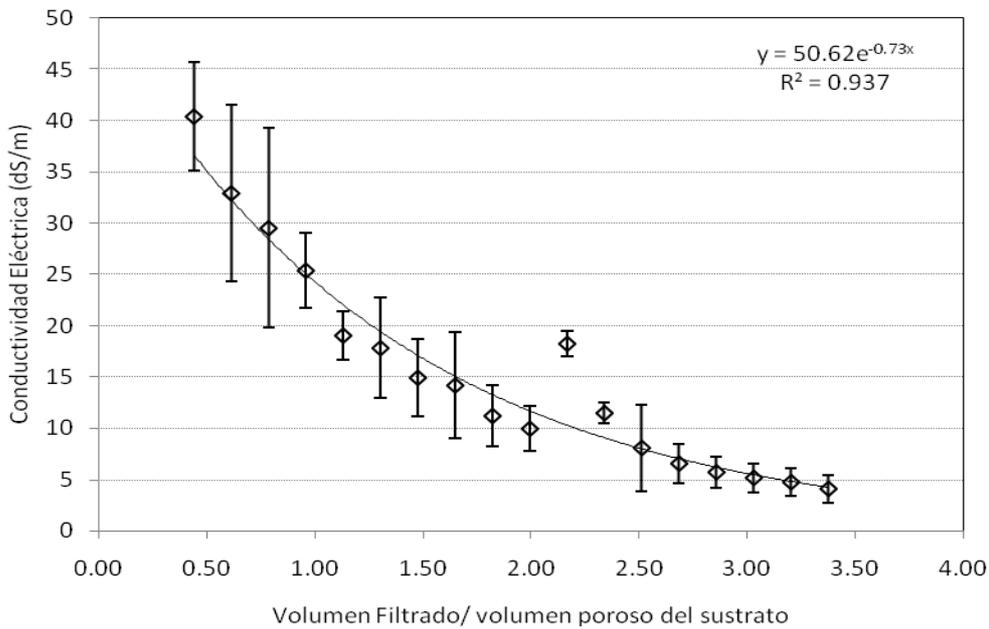


Figura 4.2. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.

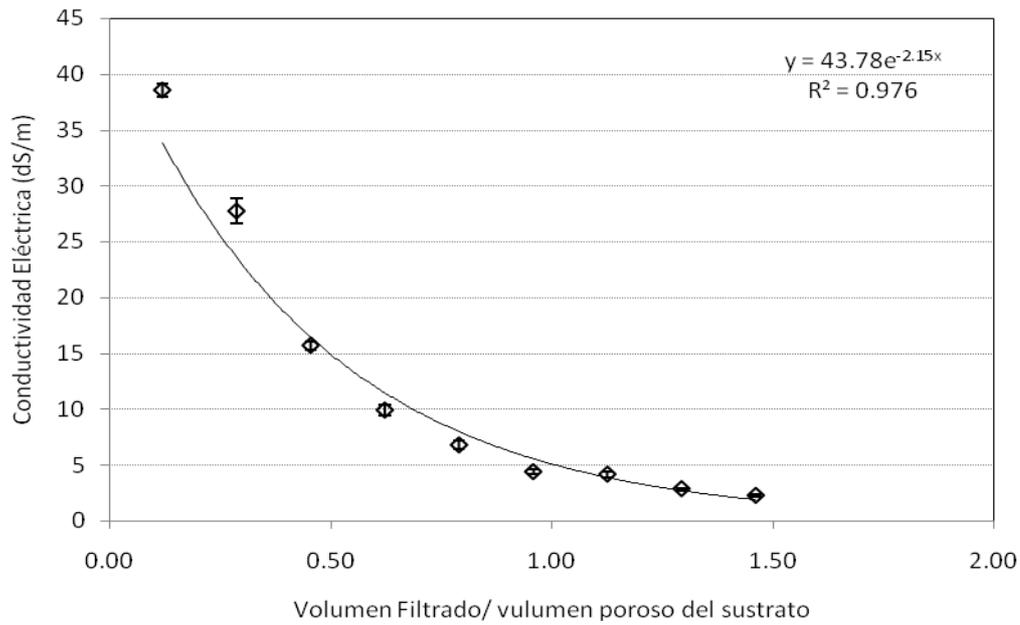


Figura 4.3. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.

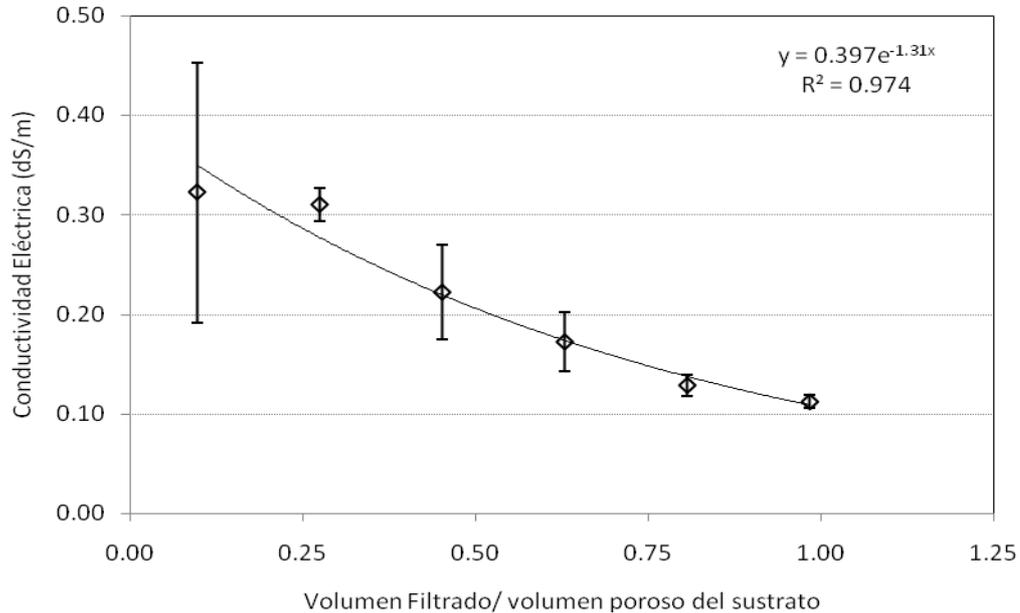


Figura 4.4. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con perlita+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.

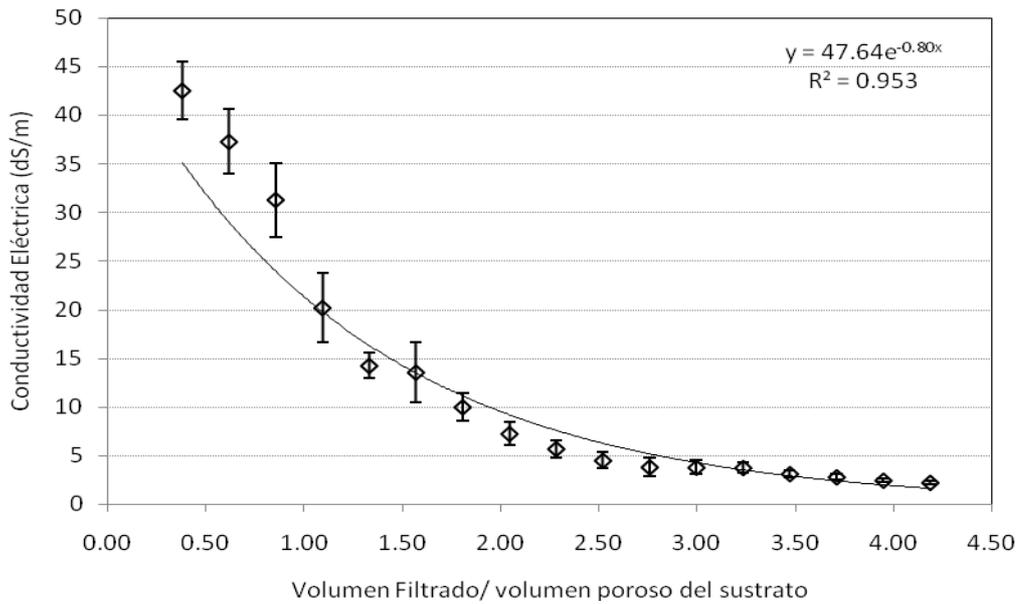


Figura 4.5. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del V_{fp} (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.

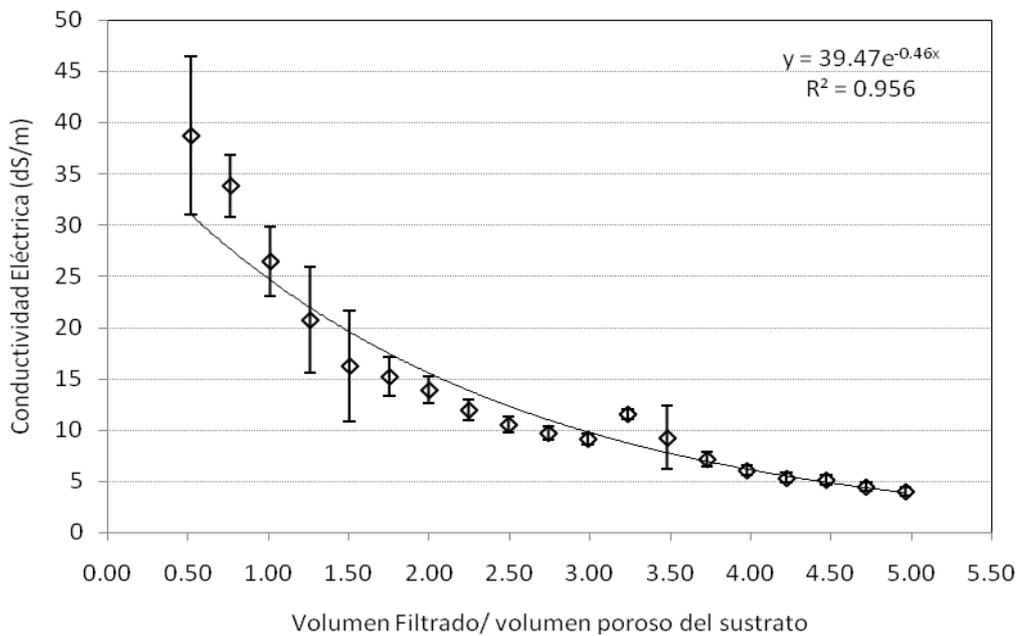


Figura 4.6. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del V_{fp} (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009.

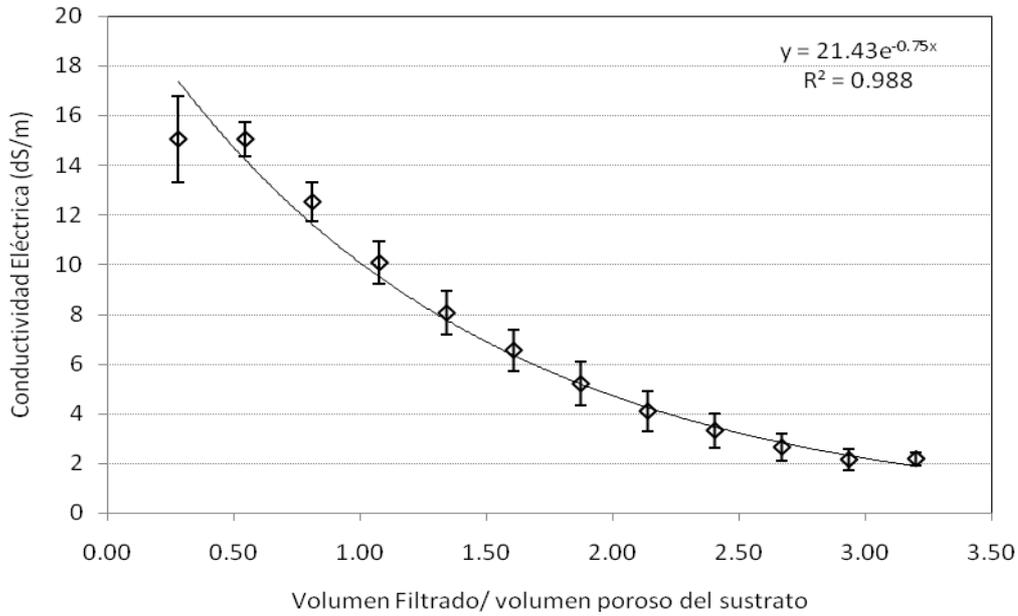


Figura 4.7. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009.

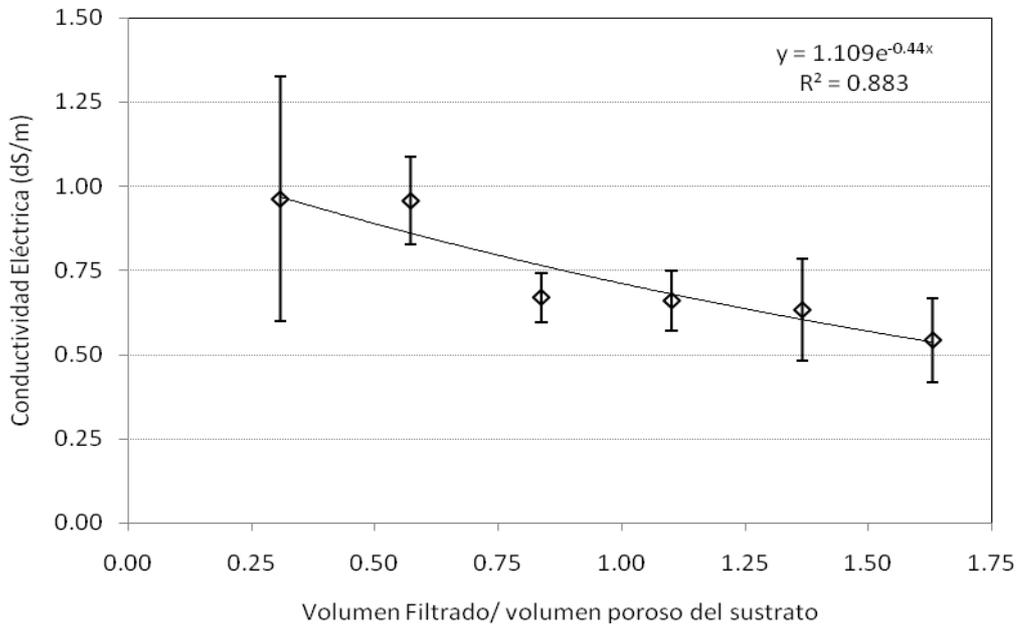


Figura 4.8. Conductividad eléctrica de la solución filtrada de columnas con arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378 mL). UAAAN-UL.2009.

Al final del proceso de lavado el análisis de varianza detecto diferencia altamente significativa en la conductividad eléctrica ($P \leq 0.01$), para sustratos inorgánicos, mientras que para sustratos orgánicos y la interacción la diferencia encontrada fue únicamente significativa (Cuadro 3A). Dado que la interacción fue significativa la interpretación de los efectos principales es irrelevante y únicamente se interpreta las medias de interacción. Los sustratos que presentaron una conductividad eléctrica elevada fueron perlita + compost con yeso y arena + compost con yeso con promedios de 4.07 y 4.02 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente. Los sustratos con los más bajos niveles de conductividad eléctrica fueron arena + Peat moss y perlita + Peat moss con valores promedio de 0.54 y 0.11 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Valores promedio de la variable conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) al final del proceso de lavado para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos				Promedio
	Compost	Compost con yeso	Peat moss	Vermicompost	
Arena	2.22 B	4.02 A	0.54 C	2.18 B	2.24
Perlita	2.47 B	4.07 A	0.11 C	2.25 B	2.22
Promedio	2.35	4.05	0.32	2.21	

Tratamientos con la misma letra son iguales estadísticamente ($\text{DMS} \leq 0.05$.)

El análisis de las propiedades químicas de un sustrato es importante debido a su interacción con los fertilizantes y su efecto en el desarrollo de las plantas, que son factores determinantes a la hora de seleccionar un sustrato, siendo la conductividad eléctrica una propiedad a considerar. Warncke y Krauskopf (1983), consideran como valores nocivos de conductividad eléctrica superiores a 3.5 dS/m en la producción de plántulas. En relación a esto el 75% de

las muestras analizadas presentan un valor adecuado; los valores de conductividad eléctrica superiores correspondieron a los sustratos arena + composta con yeso y perlita + composta con yeso y podría deberse a la presencia del yeso.

Dorais *et al.*, (2001) hacen una revisión del efecto de la CE de la solución en el cultivo de tomate en invernadero y encuentran que el valor límite de tolerancia para rendimiento varía, en diferentes estudios, desde 2.1 hasta 5.1 dS m⁻¹, mientras que la calidad se ve afectada a valores entre 2.9 y 6.0 dS m⁻¹. De acuerdo a lo anterior para la utilización de los sustratos en la producción de tomate en el caso de perlita + composta es necesario la aplicación de 1000 MI. de agua para lavar el exceso de sales y tener una CE dentro del rango requerido por el cultivo, el sustrato perlita + composta con yeso requiere de 1900 MI. de agua, el sustrato perlita + vermicomposta de 600 MI., el sustrato arena + composta 1000 MI., el sustrato arena + composta con yeso 1900 MI., el sustrato arena + vermicomposta 800 MI., los sustratos perlita + peat moss y arena + peat moss presentaron una CE muy por debajo del límite de rendimiento desde un principio.

En el cuadro 4.5 se compara la conductividad eléctrica de los sustratos cuando el $v_f/v_p = 1$ y cuando el $v_f/v_p = 2$, los sustratos con el mas bajo nivel de CE después del lavado son perlita+peat moss y arena+peat moss y los sustratos con el nivel mas alto de CE son perlita+compost con yeso y arena+compost con yeso para los cuales se necesitarían una cantidad mas alta de agua para lavar las sales.

Considerando lo anterior los mejores sustratos para producir en invernadero son perlita + vermicomposta, arena + vermicomposta, perlita + composta y arena + composta ya que presentan un contenido bajo en sales y además requieren de poca agua para el lavado de sales. Pero el mejor sustrato sería el de arena + vermicomposta por la facilidad de conseguir la arena y la vermicomposta se puede preparar en la finca. En relación a la salinidad entre sustratos que contienen perlita y arena no se ven diferencias al final del proceso de lavado.

Cuadro 4.5. Conductividad eléctrica de los filtrados a valores de 1 y 2 vf/vp. UAAAN-UL.2009.

Sustrato inorgánico	Abono orgánico	Ecuación	C.E. cuando Vf/Vp=	
			1	2
Perlita	Compost	$39.06 \cdot e^{-0.97x}$	14.8	5.6
	Compost + yeso	$50.62 \cdot e^{-0.73x}$	24.4	11.8
	Vermicompost	$43.78 \cdot e^{-2.15x}$	5.1	0.6
	Peat moss	$0.397 \cdot e^{-1.31x}$	0.11	0.03
Arena	Compost	$47.64 \cdot e^{-0.80x}$	21.4	9.6
	Compost + yeso	$39.47 \cdot e^{-0.46x}$	24.9	15.7
	Vermicompost	$21.43 \cdot e^{-0.75x}$	10.1	4.8
	Peat moss	$1.109 \cdot e^{-0.44x}$	0.71	0.46

4.2.3 pH

En la variable pH, el análisis de varianza detecto diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para sustratos orgánicos, sustratos inorgánicos y la interacción (Cuadro 4A). Dado que la interacción fue significativa la interpretación de los efectos principales es irrelevante y únicamente se interpreta las medias de interacción. El sustrato que presentó el valor más alto de pH fue arena + compost con un pH de 9.09. El sustrato con el valor más bajo fue perlita + Peat moss con un pH de 5.07 (Cuadro 4.6).

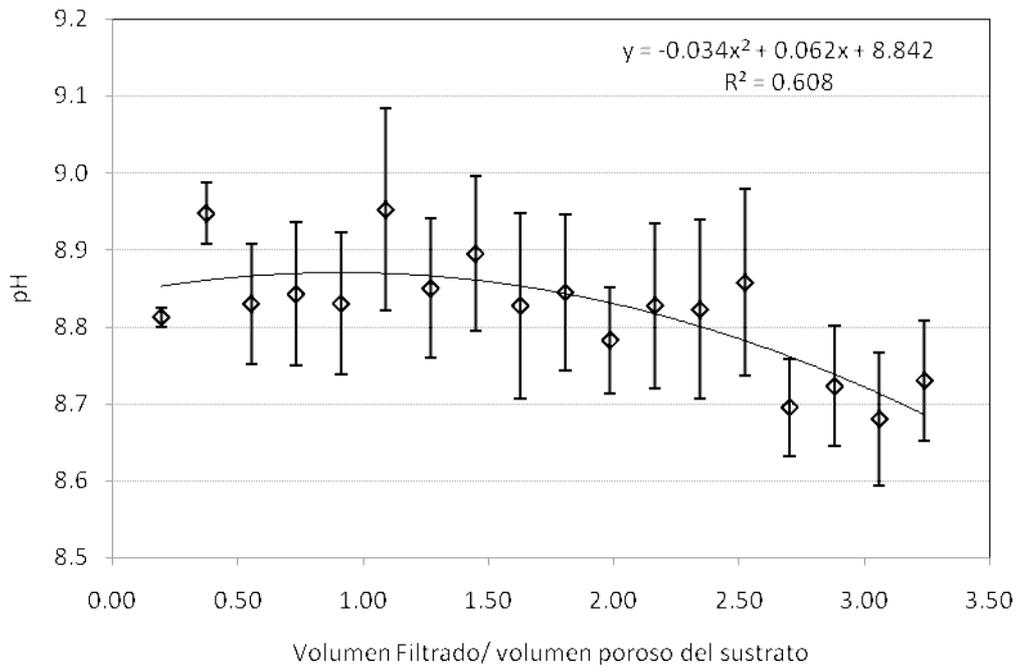


Figura 4.9. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del V_{fp} (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.

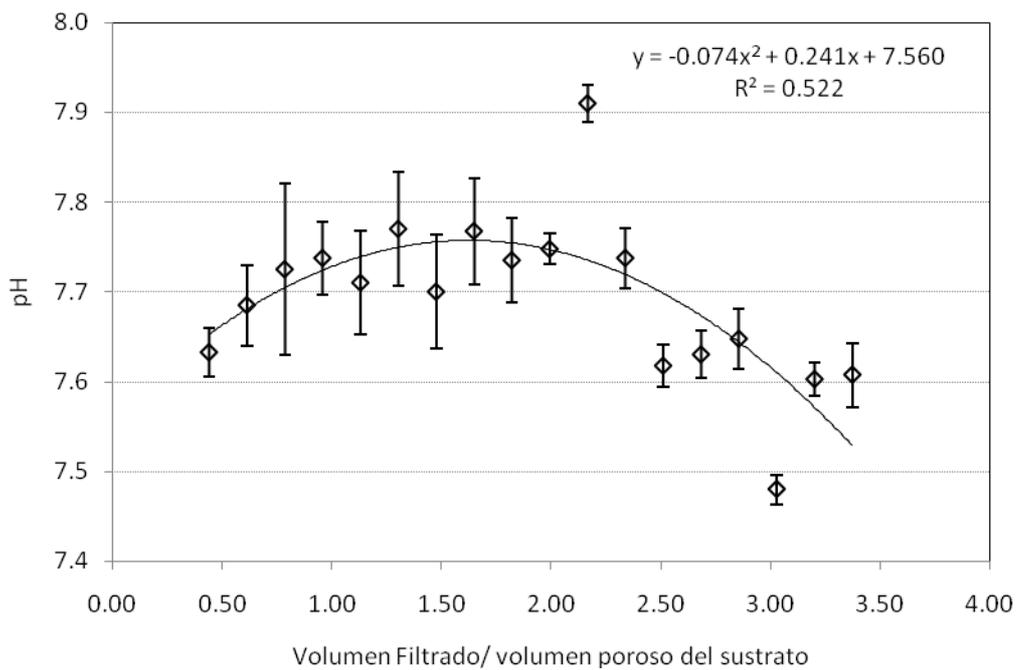


Figura 4.10. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del V_{fp} (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.

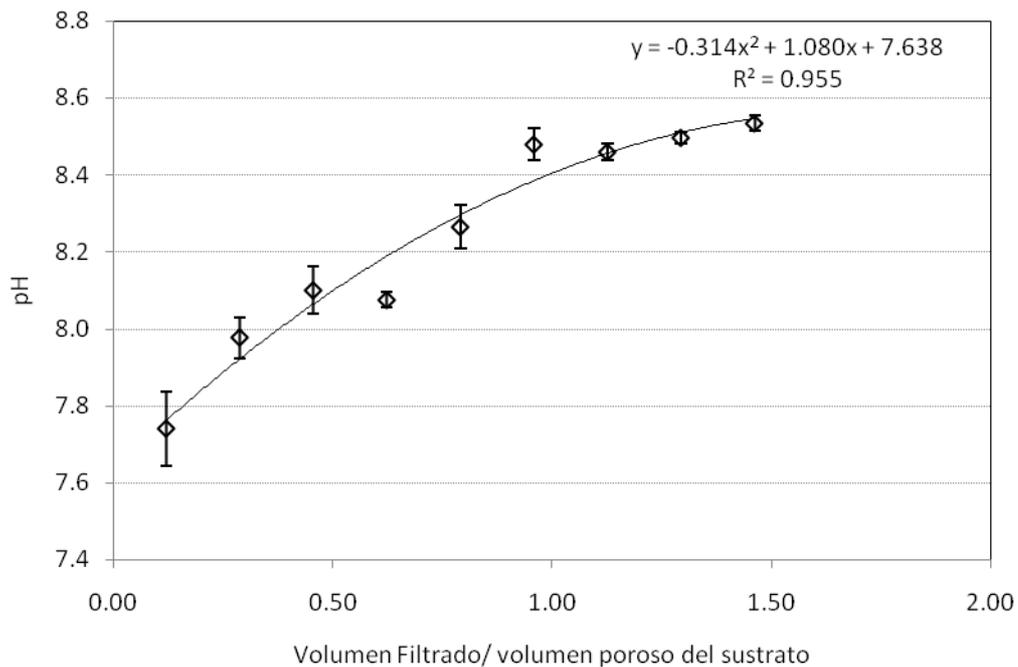


Figura 4.11. pH de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.

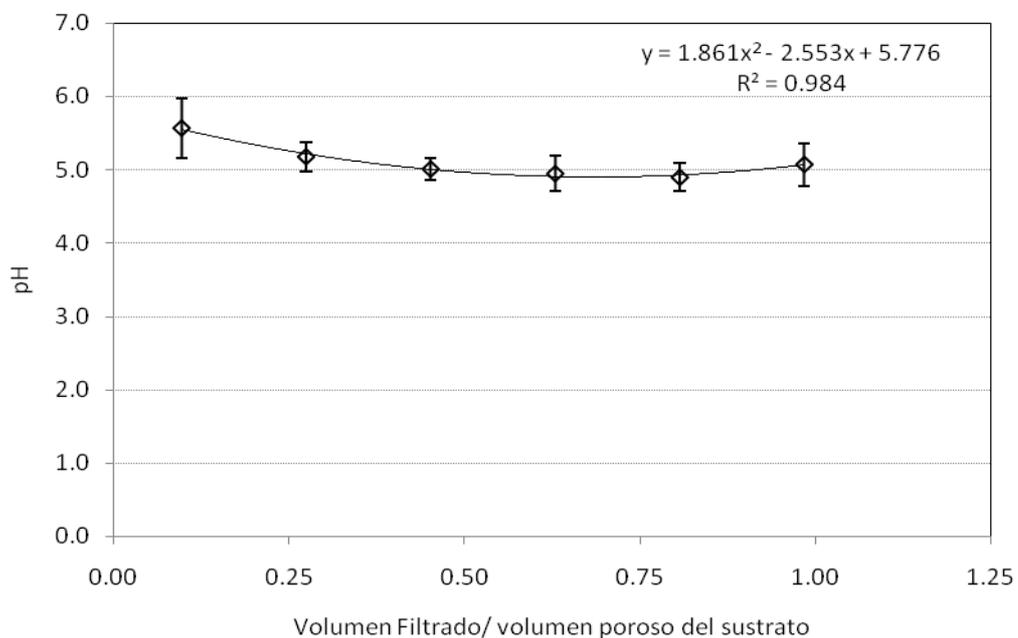


Figura 4.12. pH de la solución filtrada de columnas con perlite+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.

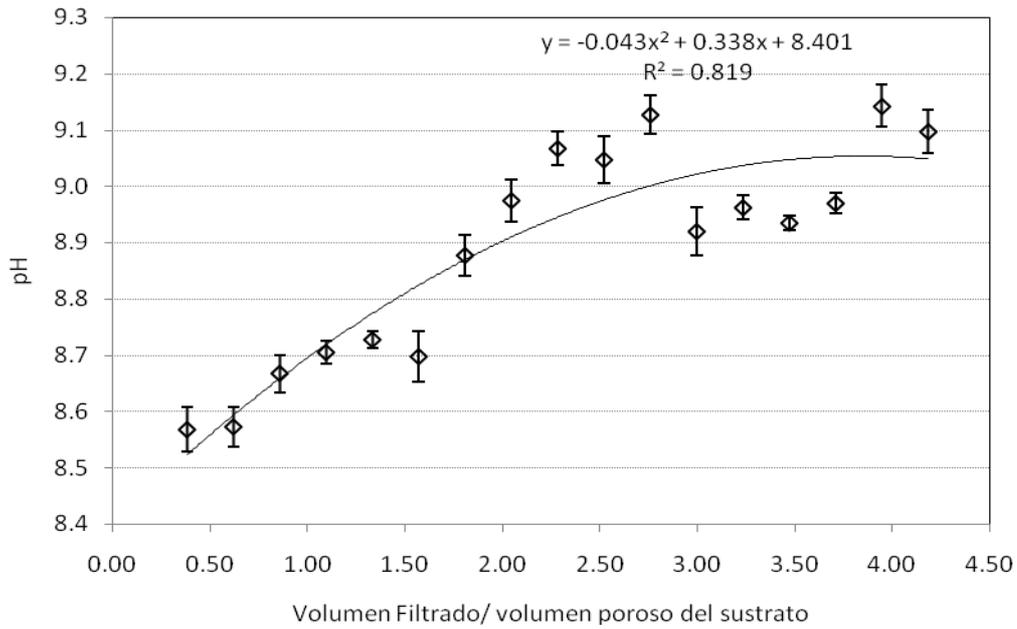


Figura 4.13. pH de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.

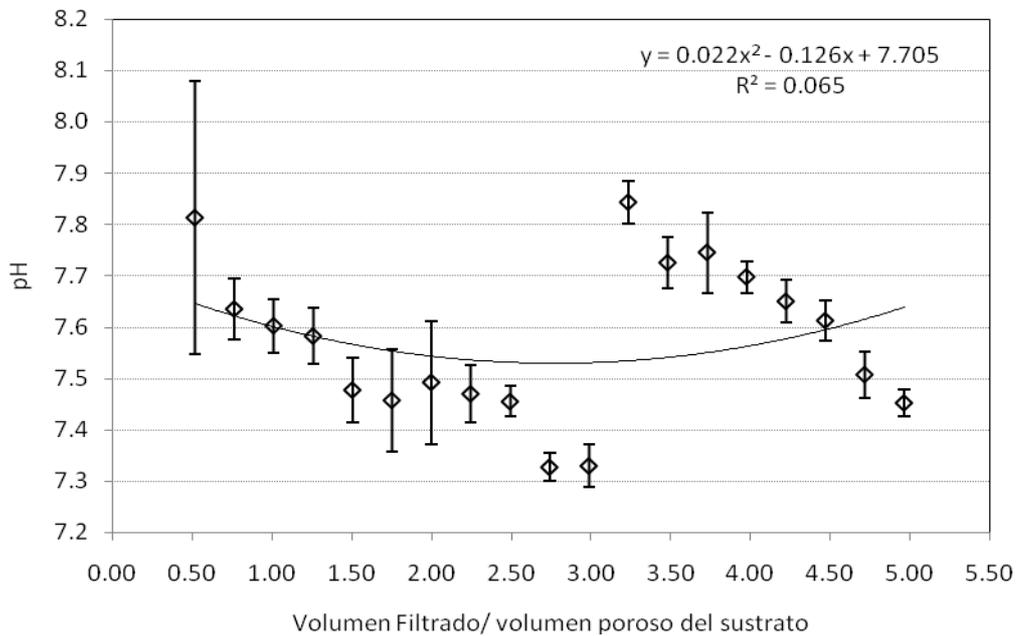


Figura 4.14. pH de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009.

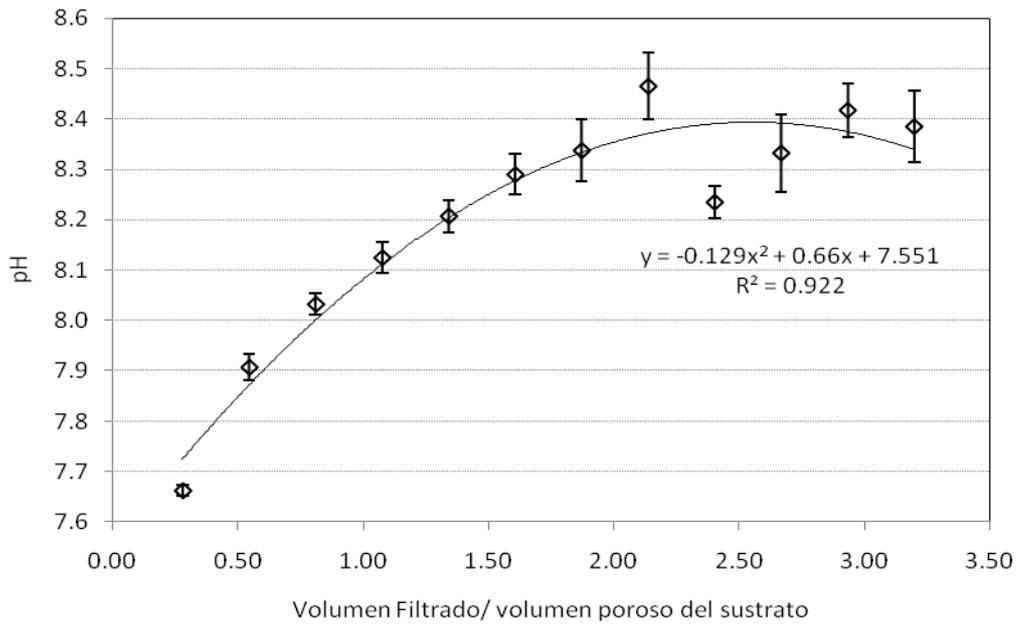


Figura 4.15. pH de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009.

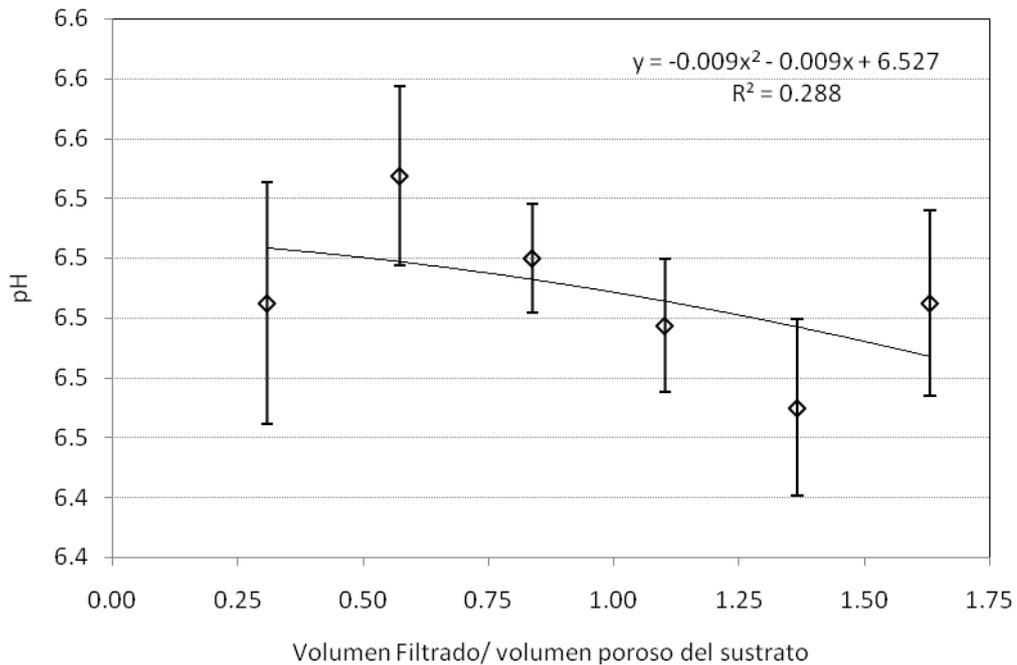


Figura 4.16. pH de la solución filtrada de columnas arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378.0 mL). UAAAN-UL.2009.

En las figuras de la 4.9 a la 4.16 se presenta el pH de cada tratamiento el cual descendió de acuerdo como el $V_{f/p}$ del sustrato aumento. En caso de la figura 4.10 presentó un ascenso del pH llegando al punto máximo cuando el $V_{f/p}$ del sustrato fue de 1.5 y después comenzó a descender, lo mismo sucedió con la figura 4.15 llegando al punto máximo cuando el $V_{f/p}$ del sustrato fue de 2.5, caso contrario sucedió en las figuras 4.12 y 4.14 que presentaron un descenso del pH llegando al punto mínimo cuando el $V_{f/p}$ del sustrato fue de 0.75 y 3 respectivamente y después comenzaron a ascender. En las figuras 4.11 y 4.13 se aprecia que el pH de cada tratamiento ascendió de acuerdo como el $V_{f/p}$ del sustrato aumento. Los datos se ajustaron a una regresión polinómica para todos los tratamientos, con un buen ajuste en todos los tratamientos considerando al coeficiente de determinación (R^2) como criterio. El R^2 oscilo de 0.065 a 0.984, el mejor ajuste lo presentó el sustrato perlita + Peat moss y el menor fue arena + compost con yeso.

El pH de la solución del suelo en contacto con la raíz puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas: influye en la disponibilidad de nutrientes y en el proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces (Alarcón, 2005).

Con respecto a los valores de pH, de los 8 sustratos evaluados, sólo 1 sustrato muestra valores dentro del rango de referencia; por otra parte de los 7 restantes, 6 de los sustratos evaluados presentan valores de pH por arriba de los valores sugeridos en la bibliografía y el otro presenta valores por debajo del nivel sugerido.

De acuerdo a lo descrito por Escudero, 2003, únicamente el sustrato arena + peat moss se encuentra dentro del rango óptimo de pH para la producción de cultivos en invernadero. Por otra parte el sustrato perlita + peat moss que tubo un pH de 5.07 puede presentar deficiencias de K, Ca, Mg y B en los cultivos, mientras que los sustratos arena + composta, arena + composta con yeso, arena + vermicomposta, perlita + composta, perlita + composta con yeso y perlita + vermicomposta puede disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y Cu (Peterson, 1981). En el caso del sustrato perlita + peat moss, el peat moss puede ser el

responsable del pH ácido, debido que la perlita presenta un pH casi neutro (Fonteno, 1996).

De acuerdo a la literatura el rango de pH de los sustratos debe estar cercano al neutro, los sustratos que cumplen con esta condición son únicamente perlita + composta con yeso, arena + composta con yeso y arena + peat moss con un pH de 7.6, 7.45 y 6.5 respectivamente. Por lo tanto son los mejores para producción de cultivos en invernadero.

Cuadro 4.6. Valores promedio de la variable pH al final del proceso de lavado para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos				Promedio
	Compost	Compost con yeso	Peat moss	Vermicompost	
Arena	9.09 A	7.45 D	6.50 E	8.38 C	7.86
Perlita	8.73 B	7.60 D	5.07 F	8.53 BC	7.48
Promedio	8.91	7.53	5.78	8.46	

Tratamientos con la misma letra son iguales estadísticamente ($DMS \leq 0.05$.)

4.2.4 Nitrógeno inorgánico

En las figuras de la 4.17 a la 4.24 se aprecia que el nitrógeno inorgánico de cada tratamiento descendió de acuerdo como el volumen filtrado/volumen poroso del sustrato aumentó. Los datos se ajustaron a una regresión exponencial para todos los tratamientos, con un buen ajuste en todos los tratamientos considerando al coeficiente de determinación (R^2) como criterio. El R^2 osciló de 0.150 a 0.988, el mejor ajuste lo presentó el sustrato perlita + compost con yeso y el menor fue perlita + vermicompost.

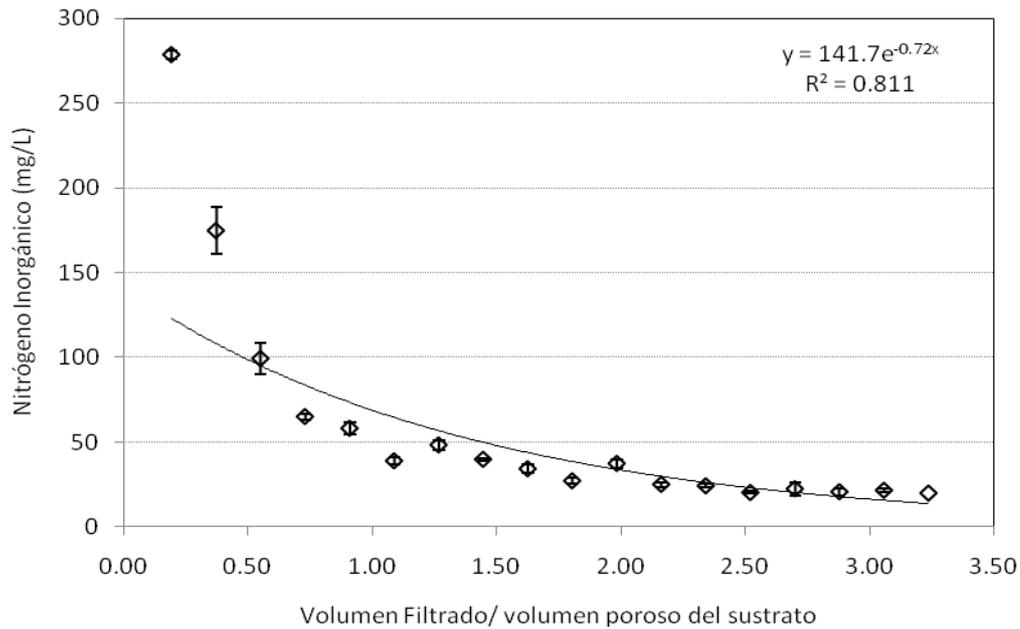


Figura 4.17. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 558.5 mL). UAAAN-UL.2009.

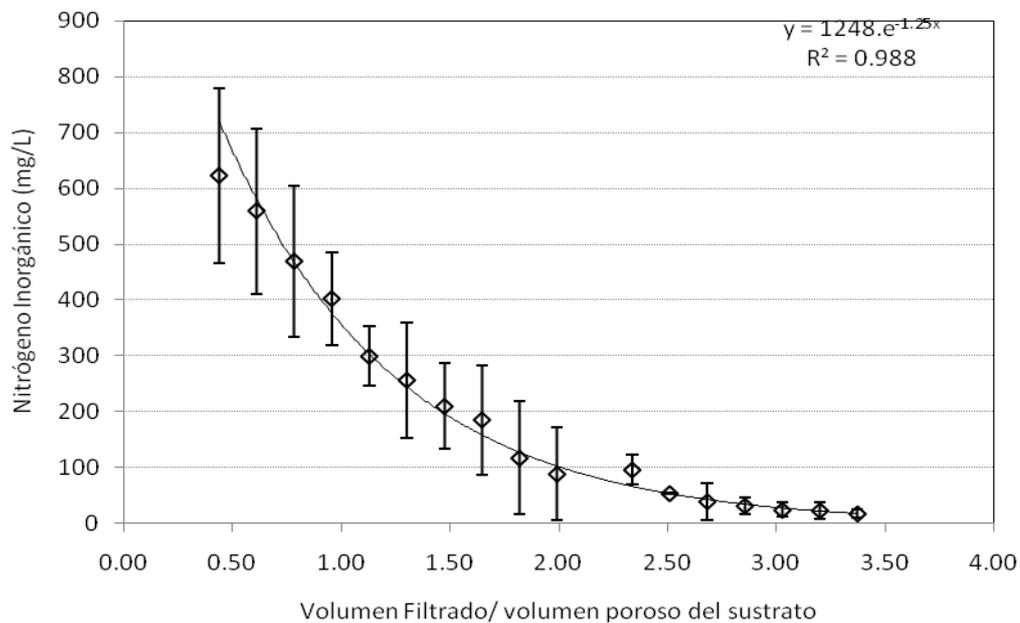


Figura 4.18. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 579.5 mL). UAAAN-UL.2009.

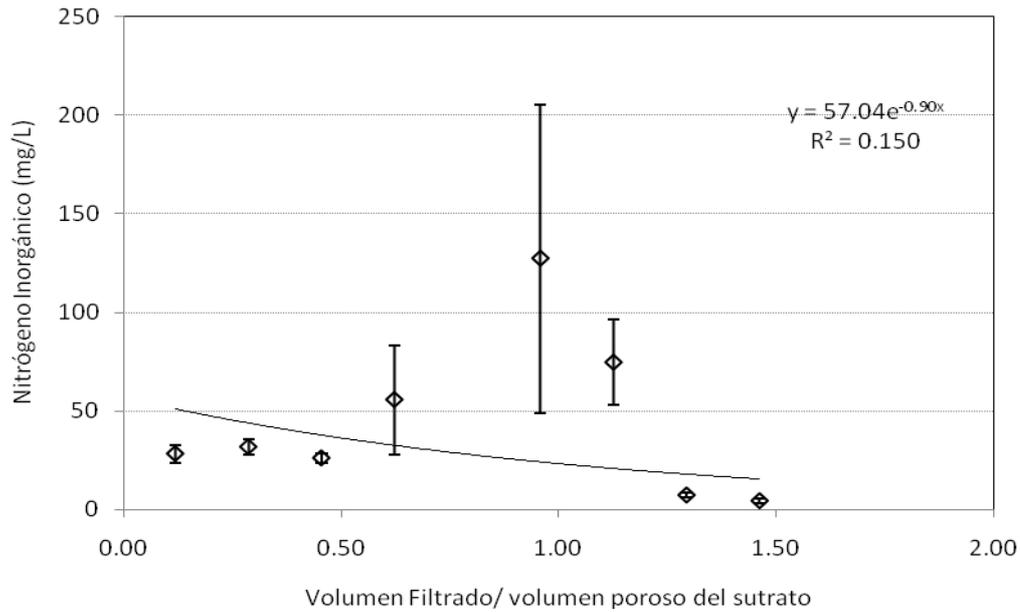


Figura 4.19. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlita+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 596.0 mL). UAAAN-UL.2009.

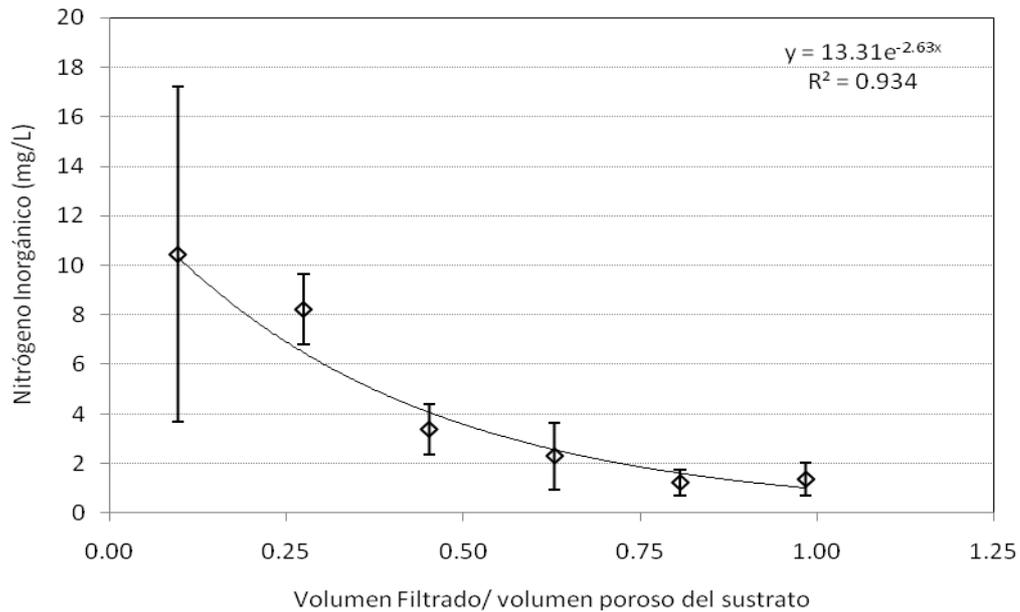


Figura 4.20. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con perlite+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 563.5 mL). UAAAN-UL.2009.

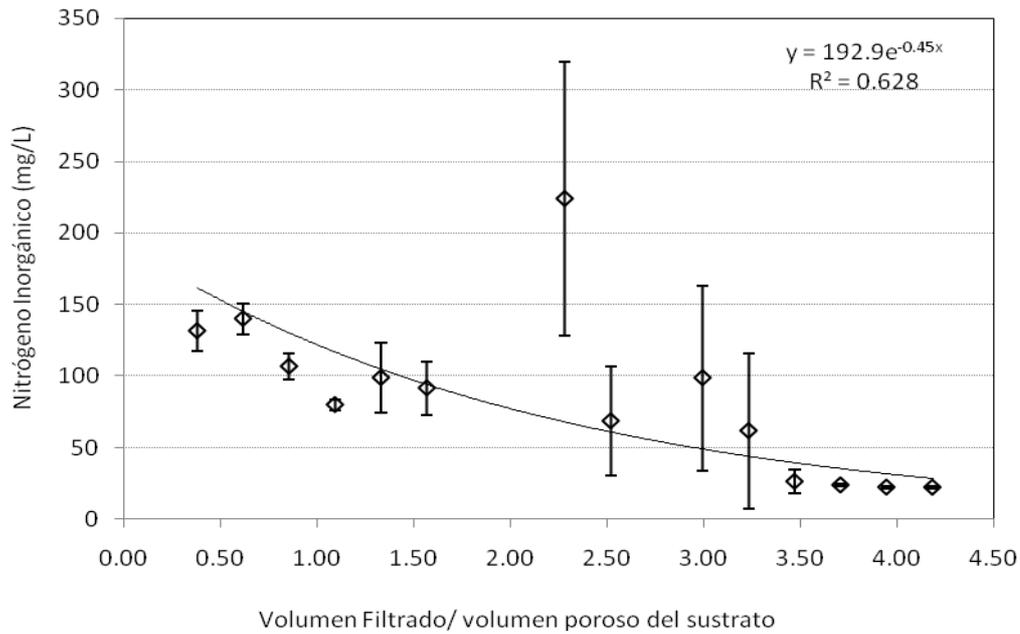


Figura 4.21. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+compost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 420.5 mL). UAAAN-UL.2009.

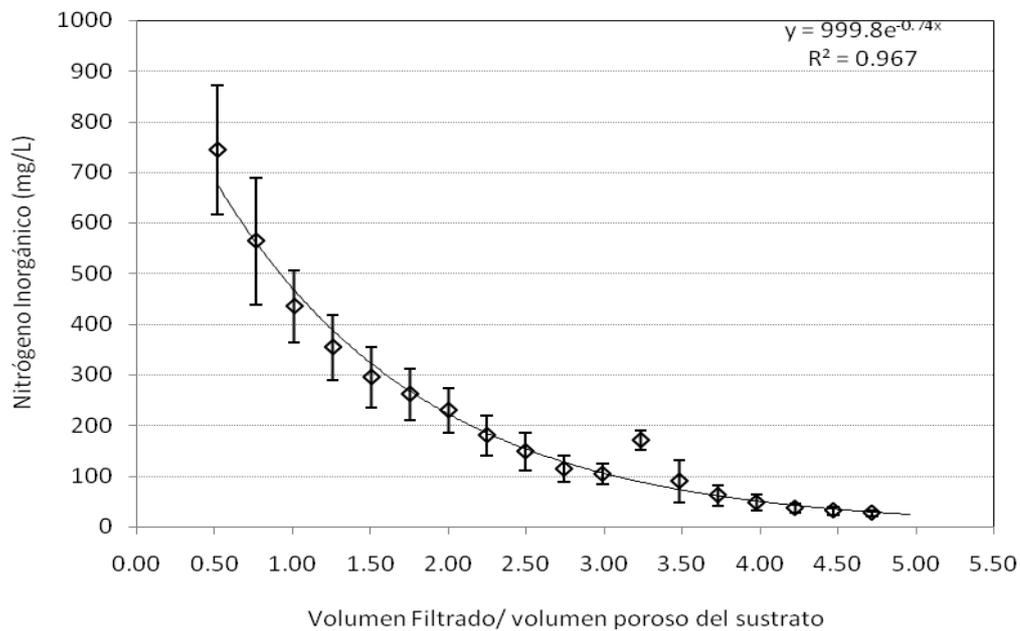


Figura 4.22. Nitrógeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+compost con yeso, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 404.5 mL). UAAAN-UL.2009.

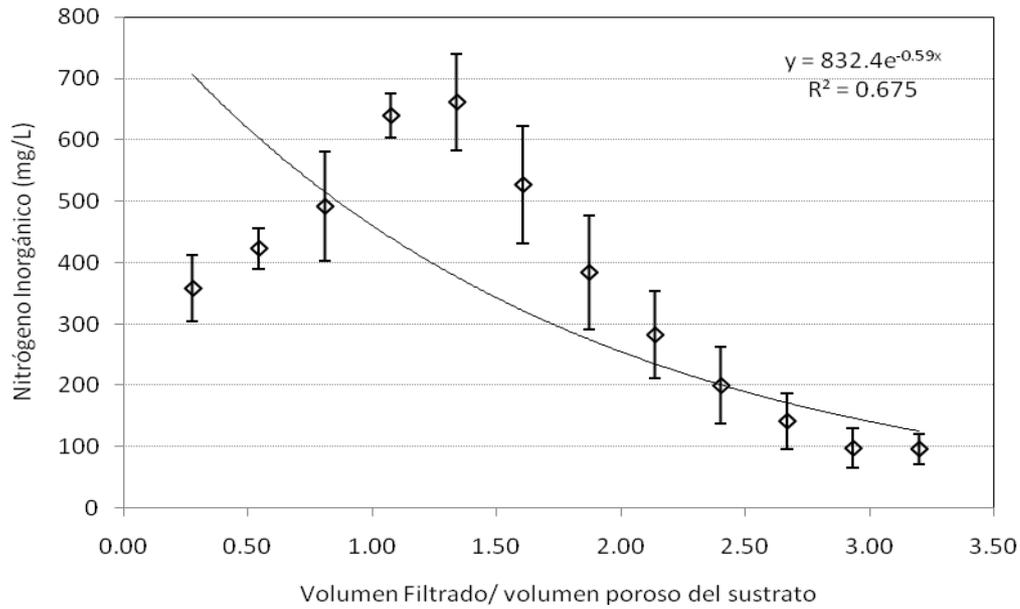


Figura 4.23. Nitrogeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+vermicompost, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 376.5 mL). UAAAN-UL.2009.

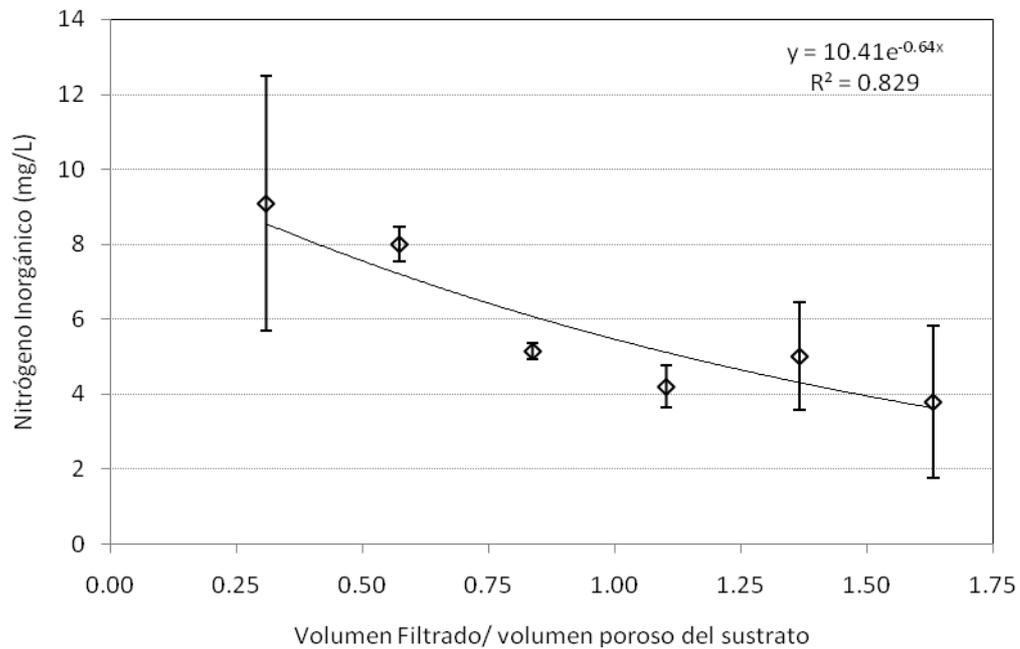


Figura 4.24. Nitrogeno inorgánico de la solución filtrada de columnas con arena+peat moss, en función del $V_{f/p}$ (1 volumen poroso = 378.0 mL). UAAAN-UL.2009.

En esta variable el análisis de varianza detectó diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) para sustratos orgánicos, sustratos inorgánicos y la interacción (Cuadro 5A). Dado que la interacción fue significativa la interpretación de los efectos principales es irrelevante y únicamente se interpreta las medias de interacción. El sustrato con mas alto contenido de nitrógeno inorgánico en el lixiviado al final del proceso de lavado fue arena + vermicompost con $96.72 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El sustrato con el más bajo contenido de nitrógeno inorgánico en el lixiviado fue perlita + Peat moss con $1.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Cuadro 4.7).

El nitrógeno en forma de nitrato, a diferencia de otros nutrimentos, se encuentra en forma disponible, por lo que su cuantificación al momento del muestreo es real. Sin embargo una parte se puede perder vía lixiviación a través de la dinámica del agua en el suelo; la cantidad de pérdida depende del volumen de agua aplicada en exceso (Castellanos, 2000).

Ochoa *et al*, (2007) utilizo composta en el cultivo de tomate para su producción encontrando que la composta es casi insuficiente para abastecer los requerimientos de N al cultivo de tomate, lo anterior indica que para el uso de compostas como las usadas en el experimento será necesario la aportación complementaria de nitrógeno para cultivos como el tomate.

El contenido total de nitrógeno en los sustratos orgánicos usados en el experimento fueron 7.66 gr de N en compost, 6.97 gr en compost con yeso, 4.09 gr en el vermicompost y 1.14 gr en peat moss y en los lixiviados fueron, perlita+compost con 108.05 mg de N total lixiviado, perlita+compost con yeso con 430.93 mg, perlita+vermicompost con 66.32 mg, perlita+peat moss con 2.21 mg, arena+compost con 295.66 mg, arena+compost con yeso con 420.31 mg, arena+vermicompost con 431.90 mg y arena+peat moss con 3.7 mg de N total lixiviado. Los lixiviados de los sustratos orgánicos mezclados con arena presentaron un contenido mayor de N total.

Cuadro 4.7. Valores promedio de la variable nitrógeno inorgánico ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) al final del proceso de lavado para los efectos principales de sustratos orgánicos e inorgánicos y medias de interacción. UAAAN-UL.2009.

Sustratos inorgánicos	Sustratos orgánicos				Promedio
	Compost	Compost con yeso	Peat moss	Vermicompost	
Arena	22.18 BC	23.94 B	3.79 BC	96.72 A	36.66
Perlita	19.89 BC	18.13 BC	1.35 C	4.25 BC	10.90
Promedio	21.03	21.04	2.57	50.48	

Tratamientos con la misma letra son iguales estadísticamente ($\text{DMS} \leq 0.05.$)

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrollo el presente estudio se concluye:

En la selección de un determinado sustrato debe considerarse primero sus características físicas, sobre las características químicas y biológicas.

El sustrato que presentó el más alto contenido de retención de humedad fue el de perlita + vermicompost, pero estadísticamente igual al sustrato perlita + compost con yeso. Los tratamientos con mas bajos porcentajes de retención de humedad fueron arena + compost con yeso y arena + vermicompost. El sustrato que presentó densidad aparente alta fue arena + compost, pero estadísticamente igual al sustrato arena + vermicompost y el sustrato arena + compost con yeso. El sustrato con la densidad aparente mas baja fue perlita + Peat moss. Los sustratos que presentaron una conductividad eléctrica elevada fueron perlita + compost con yeso y arena + compost con yeso. Los sustratos con los más bajos niveles de conductividad eléctrica fueron arena + Peat moss y perlita + Peat moss. El sustrato con mas alto contenido de nitrógeno inorgánico en el lixiviado al final del proceso de lavado fue arena + vermicompost. El sustrato con el más bajo contenido fue perlita + Peat moss.

La conductividad eléctrica en cada uno de los tratamientos descendió conforme se aumento la cantidad de agua aplicada, el pH de los tratamientos se comportaron de distintas maneras pero al final quedaron casi al mismo nivel que al inicio del estudio y en cuanto al nitrógeno inorgánico en los lixiviados éste descendió conforme aumento el agua drenada.

La mezcla de sustratos que presento las mejores características para su uso en cultivos bajo condiciones de invernadero fue perlita+peat moss, pero el sustrato perlita+vermicompost seria una muy buena alternativa.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad M, 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *In*: L. Rallo y F. Nuez (Eds.). La Horticultura Española en la CE pp. 270-280. Ediciones de Horticultura S.L., Reus (Tarragona).
- Abad, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. pp. 47-62. *In*: Cultivo sin suelo. F. Canovas y J. Díaz. (ed.). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Abad, M. 1993b. Inventario y características. pp. 65-80. *In*: Cultivo sin suelo. F. Canovas y J. Díaz. (ed). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Abad, M., 1993c. Sustratos para el cultivo sin suelo: Inventario y características. *En*: Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. F. Cánovas y J. R. Díaz (Eds.). I.E.A. / F.I.A.P.A., Almería, pp. 63-80.
- Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. *En*: el Cultivo del Tomate. F. Nuez (Coord.). Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, pp. 131-166.
- Abad, M. y Noguera, P. 1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 101-150. *In*: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed.). Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.
- Abad, M. y Noguera, P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In*: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. C. Cadahia (Coord.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 287-342.
- Abad, M. y Noguera, P. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In*: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (Ed.). Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones. 137-182 pp.
- Abad, M., Martínez- García P. F, Martínez-Herrero M. D. y Martínez-Corts J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11:141-154.

- Ansorena, J., 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 172 pp.
- Blanc D., 1987. Les Cultures Hors Sol. 2^{ème} éd. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, 409 pp.
- Bunt, A.C., 1974. Physical and Chemical characteristics of loamless pot plant substrates and their relation to plant growth. Proceedings of the Symposium on Artificial Media in Horticulture, 1973, Ghent (Belgium), pp. 1954-1964.
- Bunt. A. C., 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
- Burés, S., 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 342 pp.
- Burés, S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos Generales. En: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal. Narciso Pastor Sáez. Coordinador. Ediciones de la Universidad de Lleida. p19.
- Burés, S. 1999. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 220 p.
- Calderón, O. A. 2003. Sustratos agrícolas " [en línea]. [Chile]. sustrato@uchile.cl
<http://www.biosustratos.cl/pdf/Sustratos%20agricolas1.pdf> [Consulta: 14/12/08].
- Calderón, O. A. 2005. Propiedades físicas de los sustratos " [en línea]. [Chile]. sustrato@uchile.cl. [http://www.biosustratos.cl/pdf/Propiedades físicas Sustratos.pdf](http://www.biosustratos.cl/pdf/Propiedades_fisicas_Sustratos.pdf). [Consulta: 14/12/08].
- Carlite, W. 1999. The effects of the environment lobby on the selection and use of growing media. Acta Horticulturae. 481. 587-596.
- Caron, J. and Nkongolo, V. 1999. Aeration in growing media: recent developments. Acta Horticulturae. 481: 545-551.

- Castellanos Z. J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. 2ª edición. México. pp. 124- 148.
- Castilla, A. 2004. Invernaderos de plástico, tecnologías y manejo. Edit. Mundi - prensa. España. pp. 257-264.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Gerencia regional. Cuencas Centrales del Norte, Subgerencia Regional Técnica y Administrativa del Agua. Torreón, Coahuila, 67 pp.
- De Boodt, M., 1975. Caracteres physiques et disponibilité en eau des substrats. Annales de Gembloux, 81:59-72.
- De Boodt, M., Verdonck, O. and Cappaert, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae, 37:2.054-2.062.
- Di Benedetto, A., Molinari, J., Boschi, R., Klaasman, R. y Benedicto, D. 2000. Adaptación de cuatro especies florales anuales a diferentes substratos de crecimiento. Agrosur, 28(2): 69-76.
- Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. In: Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz (Eds.). IEA / FIAPA., Almería, pp. 261-297.
- Fonteno, W. C., 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. Acta Horticulturae, 238:67-74.
- Fonteno, W. C., 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: water, media and nutrition for greenhouse crops. David Wm. Reed (ed). Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA.
- García, M., y Daverede, P. 1994. "Le residues fibres de coco: nouveau substrat pour la culture hors sol". PMR Revue Horticole, 348:7-12.

- Guzmán, J. M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica. sp
- Handreck, K. A. and N.D. Black. 1991. Growing media for ornamental plants and turf. New South Wales University Press, Kensington Australia. 401 pp.
- Handreck, K. A., 1983. Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14:209-222.
- Hartmann, H. y Kester, D. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego. 365 p.
- Hsu, Y., Tseng, M. and Lin, C. 1996. Container volume affects growth and development of wax apple. *HortScience*. 31(7):1139-1142.
- Infoagro. 2004. Tipos de sustratos de cultivo. En línea. Infoagro 2004. www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.asp. 04 de noviembre del 2008.
- Lemaire, F. 1997. The problem of biostability in organic substrates. *Acta Horticulturae*, 450: 63-69.
- Maroto, J. V. 1990. Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 343 pp.
- Martínez, E. y García, M., 1993. Cultivos Sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ediciones de Horticultura S. L., Reus (Tarragona), 123 pp.
- Martínez, F. X., 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de horticultura*, 11:55-66.

- Martínez, F. X., Burés, S., Blanca, F., Yuste, M. P. and Valero, J. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. *Acta Horticulturae*, 294:241-248.
- Miller, R. and Donahue, R. 1995. *Soil in your environment*. Prentice Hall, New Jersey. 649 p.
- Mollitor, H., Faber, A., Marutzky, R., and Springer, S. 2004. Peat substitute on the basis of recycled wood chipboard. *Acta Horticulturae* 644: 123-130.
- Morard, P. 1995. *Les cultures végétales hors sol*. Publications Agricoles d'Agen. France.
- Nelson, P. 1998. *Greenhouse operation and management*. Prentice Hall, New Jersey. 637 p.
- Nicolas, H et Cruiziat, P. 1992. L'eau dans la plante in "L'irrigation en horticulture, pépinière et plans en pots". CNIH Ed. Paris: 5-19
- Noguera, P. 2000. Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: Un Nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis Doctoral. Departamento de Química de la Universidad Politécnica de Valencia España.
- Noguera, P., Abad, M., Noguera, V., Puchades, R. y Maquieira, A. 1999. Coconut coir waste, a new and viable ecologically- friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*.
- Ochoa, M., E. 2007. *Té de composta en la producción del cultivo de tomate en invernadero*, 79p. Tesis de maestría en ciencias en suelos. ITT, división de estudios de posgrado. Preciado Rangel Pablo. Cd de Torreón.
- Pastor, J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17(3):231-235.
- Peterson, J. C. 1981. Modify your pH perspective. *Florists' Review*, 169:34-35.

- Posadas, S. F. 1999. Propiedades y características de los sustratos. Turba y fibra de coco. En: Cultivos Sin Suelo II, En: Curso Superior de Especialización. M. Fernández y I.M. Cuadrado (Eds.). Almería España. 47-63 pp.
- Rainbow, A and Wilson, N. 1998. The transformation of composted organic residues into effective growing media. *Acta Horticulturae*, 469: 79-95.
- Raviv, M., Chen Y. E Inbar, Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plant. En: *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-287.
- Richars, D., Lane, M. y Beardsell, D.V. 1986. The influence of particle-size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae*, 29:1-14.
- Riviere, L. and Caron, J. 2001. Research in substrates: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, 548: 29-37.
- Sánchez R., F.J., A. Moreno R., J.L. Puente M. y J. Araiza Ch. 2004. "Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero". En: IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción (2004; Torreón, Coah.) Memorias. México: UG, pp. 44-53.
- Santibáñez, E., 1992. La Comarca Lagunera, ensayo monográfico. Primera edición. Tipográfica Reza. S. A. Torreón, Coahuila, México. P. 14.
- Savvas, D., and Passam, H. 2002. "Hydroponic production of vegetables and ornamentals". Embryo Publications. Athens, Greece.
- Urban, L. 1997. Introduction a la production sous serre: L'irrigation fertilizante en cultura hors sol. (Tomo 2). Ed. Tec-Doc. París.
- Urrestarazu G. M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: *Manual de Cultivo sin Suelo*. M. Urrestarazu (Ed.). Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones. 51-94 pp.

Urrestarazu G. M. (Coord.). 2004. Tratado de cultivos sin suelo. 3ª edición. Almeria. Ediciones Mundi-Prensa, 914p.

Verdonck, O., Penninck, R., and de Boodt, M. 1983. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Horticulturae*, 150:161-167.

VIII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Análisis de varianza para variable retención de humedad para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F. Calculada	Sig ¹
Tratamientos	7	2671.38	381.62	202.32	**
Sustr. org.	3	21.80	7.26	3.85	*
Sustr. Inor.	1	2581.21	2581.21	1368.44	**
Interacción	3	68.37	22.79	12.08	**
Error	24	45.27			

¹ *, ** Significativo al 5% y 1%, respectivamente.

C.V.=2.83

Cuadro 2A. Análisis de varianza para variable densidad aparente para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F. Calculada	Sig ¹
Tratamientos	7	5.02	0.71	1184.60	**
Sustr. org.	3	0.43	0.14	240.16	**
Sustr. Inor.	1	4.55	4.55	7513.90	**
Interacción	3	0.03	0.01	19.27	**
Error	24	0.01			

¹ ** Significativo al 1%.

C.V.= 3.27

Cuadro 3A. Análisis de varianza para variable conductividad eléctrica para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Frec. Calculada	Sig¹
Tratamientos	7	56.03	8.00	54.81	**
Sustr. org.	3	55.53	18.51	126.75	*
Sustr. Inor.	1	0.001	0.001	0.01	**
Interacción	3	0.50	0.16	1.15	*
Error	24	3.50			

¹ *, ** Significativo al 5% y 1%, respectivamente.

C.V.=17.08

Cuadro 4A. Análisis de varianza para variable pH para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Frec. Calculada	Sig¹
Tratamientos	7	50.30	7.18	570.35	**
Sustr. org.	3	45.83	15.27	1212.63	**
Sustr. Inor.	1	1.11	1.11	88.69	**
Interacción	3	3.34	1.11	88.62	**
Error	24	0.30			

¹ ** Significativo al 1%.

C.V.=1.46

Cuadro 5A. Análisis de varianza para variable nitrógeno inorgánico para los sustratos orgánicos e inorgánicos y su interacción. UAAAN-UL. 2009.

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F. Calculada	Sig¹
Tratamientos	7	26617.31	3802.47	46.58	**
Sustr. org.	3	9424.19	3141.39	38.49	**
Sustr. Inor.	1	5306.30	5306.30	65.01	**
Interacción	3	11886.81	3962.27	48.54	**
Error	24	1959.01			

¹ ** Significativo al 1%.

C.V. =37.98