



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**DETERMINACIÓN Y ESTUDIO DE SUSTRATOS Y FERTIRRIGACIÓN EN
LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS CERTIFICADAS**

GRISELDA MAGDALENA CONTRERAS FUENTES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2012

La presente tesis, titulada: **Determinación y estudio de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas certificadas**, realizada por la alumna: **Griselda Magdalena Contreras Fuentes**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA

ASESOR:

DR. CATARINO ÁVILA RESÉNDIZ

ASESOR:

DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR:

DR. ELISEO GARCÍA PÉREZ

Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, 12 de diciembre de 2012.

DETERMINACIÓN Y ESTUDIO DE SUSTRATOS Y FERTIRRIGACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS CERTIFICADAS

Griselda Magdalena Contreras Fuentes

Colegio de Postgraduados, 2012

En México, la producción de plantas cítricas certificadas se realiza desde hace 10 años, bajo normas fitosanitarias para evitar la diseminación de plagas y enfermedades cuarentenarias. Se identificaron los factores con potencial de mejoramiento en estos sistemas de producción, mediante entrevistas a investigadores nacionales e internacionales, viveristas y productores de cítricos. Con base en ello, se seleccionaron y caracterizaron los sustratos fibra de coco (Fc), tepezil (T) y composta de bagazo de cítricos (C) y se determinó el uso de la Mezcla 1= Fc 35%+T 25%+C 40% y Mezcla 3= Fc 55%+T 25%+C 20%. Se evaluó el desarrollo de los portainjertos *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. y citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* Macf. x *Citrus paradisi* Raf.) en Fc, M1, M3 y suelo agrícola (testigo). Ocho tratamientos se distribuyeron en un diseño de parcelas divididas. Las plantas se regaron con solución nutritiva Steiner al 10% y se midieron las variables de crecimiento. Se determinó la relación costo-beneficio de la producción de plantas entre sustratos. El 22% de los viveristas produce bajo el sistema tradicional y el 78 % bajo cubierta, la naranja Valencia y limón Persa injertados en *C. volkameriana* son de mayor demanda y el 67 % fertiliza vía foliar. El ciclo de producción de plantas se reduce dos meses con el uso de sustratos. *C. volkameriana* cultivado en la M1 presentó los valores más altos de altura (98.75 cm), área foliar (969.87 cm²) y peso de biomasa seca (26.04 g). Citrumelo Swingle creció mejor en el suelo agrícola. Es importante evaluar otros sustratos para este portainjerto a fin de reducir el uso del suelo. Debido a su bajo costo, la composta podría reducir el precio final de mezclas y ser una buena alternativa para la producción de *C. volkameriana*.

Palabras clave: entrevistas, mezclas, portainjertos, solución nutritiva Steiner.

IDENTIFICATION AND STUDY OF SUSTRATES AND FERTIRRIGATION FOR PRODUCING CERTIFIED CITRUS PLANTS

Griselda Magdalena Contreras Fuentes

Colegio de Postgraduados, 2012

In Mexico, since 10 year ago, the production of certified citrus plants is carried out under sanitary regulations to quarantine for pests and diseases that jeopardize the Mexican citriculture. Potential factors for improvement the citrus system production were identified by interviewing mexican and international researchers, nurserymen, and citrus growers. Based on the results of those interviews, substrates as coconut fiber (Fc), tepetzil (T) and composted orange bagasse (C) were selected and characterized and the usage of Mixture 1=coconut fiber 35%+tepetzil 25%+orange compost 40% and Mixture 3= coconut fiber 55%+tepetzil 25%+orange compost 20% was also determined. The effects of Fc, M1, M3, and agricultural soil and composted orange bagasse on the growth of *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. and citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *Citrus paradisi* Macf.) rootstocks were evaluated. Eight treatments were distributed in a split-plot design; citrus plants were watered using a 10% Steiner nutrient solution and the height, diameter, leaf area, and dry weight were measured. The relation cost-benefit for producing plants among substrates was determined. From all nurserymen, 22 % uses the traditional system for producing plants and 78 % uses protected screenhouse, Valencia orange and Persa lime grafted on *C. volkameriana* are highly required, and 67 % fertilizes foliarly. The production cycle of citrus plants is reduced for two months when using substrates. *C. volkameriana* grown in the M1 showed the highest values for height (98.75 cm), leaf area (969.87 cm²), and dry weight (26.04 g). Agricultural soil was the best for growing Swingle citrumelo. The evaluation of others substrates for this rootstock is important in order to reduce the usage of soil. Because of the low cost of the composted citrus bagasse, it could be diminish the final cost of mixtures and be a good alternative for producing *C. volkameriana*.

Key words: interviews, mixtures, rootstocks, Steiner nutrient solution.

DEDICATORIA

¡Cuán grande riqueza es, aun entre los pobres,
el ser hijo de un buen padre! (*J. L. Vives*).

Dedico mi grado de Maestra en Ciencias

a mi padre

Julio Contreras Gonzales,

con todo mi amor, admiración y agradecimiento...

AGRADECIMIENTOS

“Las personas renuncian fácilmente porque miran todo el camino que les falta, en vez de mirar cuán lejos han llegado” gracias Señor mi Dios por no permitirme renunciar a este sueño, ahora hecho realidad.

A mi madre Alma Delia Fuentes Meraz porque me ha enseñado día a día que “QUERER ES PODER”; mis hermanos Julio Cesar y Juan José Contreras Fuentes por el amor y la amistad incondicional que me brindan, esto no hubiera sido posible sin ustedes.

A todo el pueblo de México que a través del CONACYT y el Colegio de Postgraduados otorgaron los recursos económicos para la realización de este trabajo.

Al CONACYT por el otorgamiento de la beca económica que permitió mi estancia y la realización de esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por brindarme la oportunidad de ingresar al programa en Agroecosistemas Tropicales, y todas las facilidades otorgadas durante mi estancia.

Al Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304 para el establecimiento y operación de los fondos para la investigación científica y desarrollo tecnológico del centro público Colegio de Postgraduados, por el financiamiento parcial de esta investigación.

A los propietarios de la empresa Citrícola RV Vivero San Manuel, por todas las facilidades, la confianza y recursos brindados para la realización de esta investigación.

Sr. Adalberto Reséndiz Velazco por la confianza, las facilidades y el apoyo brindado, muchas gracias.

Dra. Alejandra Soto Estrada por la paciencia y tiempo brindado para la realización de este trabajo.

Dr. Prometeo Sánchez García por las aportaciones a esta investigación y las atenciones brindadas, gracias.

Dr. Catarino Ávila Reséndiz y Dr. Eliseo García Pérez, por las aportaciones a esta investigación como parte de mi consejo particular.

Dra. Mónica de la Cruz Vargas, por su asesoría y aportaciones brindadas.

Dr. Víctor Volke por su valiosa aportación en la elaboración de mezclas.

Dr. Pablo Díaz Rivera, por la asesoría brindada en el análisis estadístico, por su paciencia y apoyo desinteresado.

Dr. Juan Lorenzo Reta Mendiola, por todas las facilidades brindadas durante la última etapa de mi estancia en el COLPOS Campus Veracruz.

Dra. Silvia López Ortiz por brindarme su apoyo moral.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron durante toda esta difícil etapa, todos los que creyeron en mí y me brindaron su respeto, cariño y apoyo. En especial a la miss Gloria Peraza Rejón, Roberto Chiquito Contreras, Estela Ramírez, Viviana Valenzuela, Lucero Medinilla, Eloísa Vargas, María Del Rayo Rivera (Campus Montecillos), Ayatzol Vidal, Pedro Cisneros, Leonardo Gordillo, Anabel Cruz.

A todo el personal de trabajadores y administrativos del colegio, en especial a Fabi, Laura, Rosario, Jesús, Elba, Isabel....

A todos los que de alguna u otra manera me acompañaron durante toda mi etapa de postgrado, gracias por brindarme su cariño y apoyo sincero...

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Hipótesis general.....	4
2.1 Hipótesis particulares.....	4
3. Objetivo general	5
3.1 Objetivos específicos	5
4. Revisión de literatura.....	6
4.1. Definición y concepto de Agroecosistema.....	6
4.2. Enfoque de Agroecosistemas en la producción de plantas cítricas.....	7
4.3. Uso de sustratos en la producción de plantas cítrica.....	11
4.3.1. Características de los sustratos.....	11
4.3.2. Selección del sustrato apropiado.....	12
4.3.3. Uso y elaboración de mezclas de sustratos.....	13
4.3.4. Manejo de los sustratos.....	15
4.4. Fertirrigación: características de la solución nutritiva.....	16
4.4.1. Importancia de los macronutrientes en la solución nutritiva.....	18
4.4.2. Importancia de los micronutrientes en la solución nutritiva.....	21
4.4.3. Interacción de macronutrientes en la fertirrigación.....	22
5. Literatura citada.....	23
CAPÍTULO I. SITUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS EN MÉXICO: IDENTIFICACIÓN DE FACTORES MODIFICABLES	29
1.1. Introducción.....	31
1.2 Materiales y métodos.....	33
1.2.1 Consulta directorios oficiales.....	33
1.2.2. Encuesta sobre producción de plantas cítricas.....	34

1.3. Resultados.....	34
1.3.1. Unidades de producción de plantas cítricas.....	34
1.3.2. Generalidades de las entrevistas.....	36
1.3.3. Información obtenida de Investigadores nacionales e internacionales	38
1.3.4. Información proporcionada por viveristas productores de plantas cítricas.....	40
1.3.5. Información vertida por productores de cítrico.....	42
1.4. Discusión.....	43
1.5. Conclusión.....	49
1.6. Literatura citada.....	50
CAPÍTULO II. VALORACIÓN DE SUSTRATOS Y FERTIRRIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS CERTIFICADAS.....	53
2.1. Introducción.....	55
2.2. Materiales y métodos.....	57
2.2.1. Ubicación del sitio experimental.....	57
2.2.2. Factores de estudio.....	57
2.2.3. Caracterización de los sustratos y obtención de mezclas.....	57
2.2.4. Primer experimento.....	59
2.2.5. Segundo experimento.....	60
2.2.6. Determinación de la relación costo beneficio.....	63
2.3. Resultados	63
2.3.1. Caracterización de sustratos.....	63
2.3.2. Primer experimento.....	66
2.3.3. Segundo experimento.....	68
2.3.4. Costo beneficio en la producción de plantas.....	76
2.4. Discusión.....	77
2.5. Conclusión.....	81
2.6. Literatura itada.....	82
CONCLUSIONES GENERALES.....	85

ANEXOS A. Cuestionarios.....	87
A1.Cuestionario investigadores nacionales.....	87
A2.Cuestionario investigadores internacionales.....	89
A3.Cuestionario viveristas.....	91
A4. Cuestionario productores.....	93

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1. Producción nacional de material propagativo de cítricos en las diferentes unidades de producción existentes en México.....	35
Cuadro 1.2. Producción anual de plantas cítricas en viveros certificados en México.....	35
Cuadro 1.3. Características y datos de identificación de los entrevistados.....	36
Cuadro 1.4. Respuesta de los investigadores nacionales e internacionales sobre la producción y uso de plantas cítricas certificadas.....	38
Cuadro 1.5. Sugerencias de los investigadores nacionales e internacionales sobre el uso de sustratos.....	40
Cuadro 1.6. Respuestas de los viveristas al proceso de producción y uso de plantas cítricas certificadas.....	40
Cuadro 1.7. Respuestas de los productores de cítricos en relación al proceso y uso de plantas cítricas certificadas.....	42
Cuadro 2.1. Valores individuales de las variables de diseño de cada sustrato para la elaboración de mezclas.	58
Cuadro 2.2. Volumen de sustratos, valores de las variables de diseño y costos de las mezclas seleccionadas.....	59
Cuadro 2.3. Descripción de tratamientos evaluados en la producción de plantas cítricas.....	60
Cuadro 2.4. Descripción de tratamientos evaluados en la producción de plantas cítricas, en el segundo experimento.....	61
Cuadro 2.5. Valores de las principales características físicas de los sustratos evaluados.....	64
Cuadro 2.6. Valores de la curva de liberación de agua en tenciones de 0, 10, 50, 100 cm de los sustratos.....	64
Cuadro 2.7. Porcentaje del tamaño de partículas contenidas en los sustratos caracterizados.	65

Cuadro 2.8.	Valores de las principales características químicas de los sustratos caracterizados.....	65
Cuadro 2.9.	Contenido de nutrientes y compuestos en los sustratos evaluados.....	66
Cuadro 2.10.	Análisis de varianza de las variables altura y diámetro de los portainjerto por el efecto de los sustratos fertilización en dos experimentos.....	67
Cuadro 2.11.	Separación de medias de las variables altura y diámetro del portainjerto en la interacción 'portainjerto x sustrato'.....	68
Cuadro 2.12.	Análisis de varianza de las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca, por efecto de los sustratos y portainjertos evaluados.....	68
Cuadro 2.13.	Comparación de medias ajustadas para las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca por efecto del 'sustrato'.....	69
Cuadro 2.14.	Comparación de medias ajustadas para las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca para la interacción 'sustrato x portainjerto'.....	70
Cuadro 2.15.	Análisis de varianza de las variables área foliar, fijación neta de CO ₂ , transpiración, conductancia estomática y clorofila por efecto de sustrato y portainjerto.....	71
Cuadro 2.16.	Comparación de medias ajustadas de las variables área foliar, fijación neta de CO ₂ , transpiración y conductancia estomática para la interacción 'sustrato x portainjerto'.....	71
Cuadro 2.17.	Análisis de varianza de la concentración de macroelementos (mg·g ⁻¹) por efecto del sustrato y el portainjerto.	72
Cuadro 2.18	Comparación de medias ajustadas de la concentración de macroelementos (mg·g ⁻¹) en los portainjertos por efecto del sustrato.....	73
Cuadro 2.19.	Comparación de medias ajustadas de la concentración de macroelementos (mg·g ⁻¹) por el efecto de la interacción 'sustrato x portainjerto'.....	73
Cuadro 2.20.	Análisis de varianza de la concentración de microelementos (mg·kg ⁻¹) por efecto del sustrato y del portainjerto.....	74

Cuadro 2.21.	Comparación de medias ajustadas de la concentración de microelementos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los portainjertos por el efecto del sustrato.....	75
Cuadro 2.22.	Comparación de costos en la producción de cítricos con el uso de sustratos, fertilización y suelo agrícola.	77

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquematización de las interacciones del agroecosistema vivero productor de plantas cítricas y su relación con el agroecosistema.....	9
Figura 1.1. Ciclo de crecimiento de plantas cítricas cultivadas en diferentes materiales utilizados como soporte.....	41
Figura 1.2. Formas de fertilización empleadas por los viveristas entrevistados.....	42
Figura 2.1. Relación demanda hídrica y altura de los portainjertos cultivados en sustratos diferentes.....	76
Figura 2.2. Variación de la temperatura mínima, máxima y promedio en el periodo de enero a octubre del 2011, en el interior (a) y exterior (b) del invernadero.....	77

INTRODUCCIÓN GENERAL

La falta de programas de certificación y el origen desconocido del material propagativo, con los que se estableció la citricultura en México, han influenciado y contribuido a la introducción y diseminación de problemas genéticos y de enfermedades sistémicas, los cuales, están ampliamente distribuidas en todas las regiones citrícolas (Robles *et al.*, 2008). Esto ha hecho necesario la elaboración y ejecución de programas de certificación (Jiménez y Zamora, 2010), en los que se establece la producción de plantas cítricas en ambiente protegido, ya que es una alternativa que resuelve algunos problemas de plagas y enfermedades presentes en el sistema tradicional a cielo abierto (Bernardi *et al.*, 2000a).

El desarrollo sustentable de la citricultura en México, depende del acatamiento de programas de certificación en la producción de plantas cítricas que implican el uso de tecnologías enfocadas a las medidas fitosanitarias, como el producir en ambiente protegido, aislado de vectores de enfermedades de importancia económica, como: *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), transmisor del Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC) (*Closteroviridae-Closterovirus*) detectado en 2004; *Diaphorina citri* Kuwayama, vector de la bacteria *Candidatus liberabacter* spp. causante del Huanglongbing de los cítricos (HLB), detectada en 2009; ácaros del genero *Brevipalpus* spp., vectores de la leprosis de los cítricos (genero *Dichorhabdovirus*), detectada en 2008; insectos de la familia Cicadellidae y Cercopidae vectores de la clorosis variegada de los cítricos (*Xylella fastidiosa* subsp. Pauca), aun no detectada en México; *Xanthomonas axonopodis* pv citri bacteria causante del cancro de los cítricos, ausente en el territorio mexicano (Robles *et al.*, 2008; SENASICA 2010).

Las plantas cítricas producidas en ambiente protegido, son una alternativa al sistema tradicional de producción en viveros a campo abierto, donde, el tiempo de producción desde la germinación hasta el trasplante varia de 9 a 15 meses, dependiendo del clima de la región y el nivel tecnológico de la unidad de producción (Schäfer *et al.*, 2006; Prado *et al.*, 2008). El desarrollo de las plantas está determinado por factores exógenos y endógenos, que pueden modificarse

fácilmente dentro del invernadero, y permiten mejorar la calidad de la planta (Esposti y Siqueira, 2004; Vale y Prado, 2009).

Entre los factores e insumos limitantes de la producción de plantas en vivero bajo cubierta, destaca el sustrato utilizado, ya que este determina el tipo de fertilización y el contenedor o maceta que se usará para el crecimiento de las plantas (López *et al.*, 2005). El objetivo principal del uso de sustratos, consiste en mejorar las condiciones fitosanitarias, promover un mayor crecimiento y homogeneizar el proceso de formación de las plantas (Rezende *et al.*, 2010). En este tipo de producción, la mayoría de los cultivos se desarrollan en sustratos alternativos al suelo, mezclando dos o más componentes orgánicos y minerales comerciales, para lograr propiedades físicas y químicas óptimas para el desarrollo de plantas (Gruszynski y Kämpf, 2004); una alternativa frecuente, es el uso de composta de residuos orgánicos regionales, que reduzcan el costo de dichas mezclas y contribuyan al uso y reciclaje de material de desecho, promoviendo un aprovechamiento sustentable de los mismos.

Sumado al uso de sustratos y al espacio reducido de los contenedores para el desarrollo radicular, es necesario aplicar los nutrientes en dosis adecuadas y balanceadas, lo cual, se facilita con el uso de la fertirrigación (Boaretto *et al.*, 1999; Bernardi *et al.*, 2000a; Boaventura *et al.*, 2004). Con ésta práctica, se asegura que los fertilizantes se apliquen directamente a las raíces, que es la zona principal de absorción de nutrientes en la planta, lo que permite el fraccionamiento de las dosis de fertilización, y provoca un aumento en la eficiencia y asimilación de éstas (Rozane *et al.*, 2009); con ello se estimula el crecimiento máximo y se evitan las pérdidas por lixiviación (Bernardi *et al.*, 2000a).

Por lo anterior, es necesario establecer la dosis de fertilización adecuada, para una producción económicamente viable, donde la planta adquiera las características deseables para su trasplante a campo en un tiempo menor, evitando desbalances nutricionales que puedan alterar su morfología (Bernardi *et al.*, 2000a; Prado y Vale, 2008).

Debido a la falta de información e investigación relacionada con la fertirrigación y uso de sustratos, en la mayoría de los viveros protegidos, se fertiliza empleando las mismas técnicas que en los viveros tradicionales (Bernardi *et al.*, 2000a; Neto *et al.*, 2002; Cruz *et al.*, 2010). La tendencia actual en la investigación de sustratos para el crecimiento de plantas consiste en buscar materiales o mezclas nuevas, en los que además de proporcionar mejores condiciones de crecimiento, se considere la disminución del impacto negativo al ambiente, en aspectos como, extracción de materiales no renovables o de lenta renovación, así como reducir el uso de fertilizantes y pesticidas utilizando solo las dosis requeridas (Riviére y Caron, 2001; Cruz *et al.*, 2010). Por lo anterior, es necesario realizar investigaciones sobre ambos temas, considerando los elementos necesarios para el establecimiento de un programa de producción de plantas cítricas en ambiente protegido, utilizando sustratos y fertirrigación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de plantas cítricas certificadas bajo cubierta, se realiza en la mayor parte del mundo en los países donde las plagas y enfermedades han causado pérdidas económicas considerables a la citricultura. En Estados Unidos las pérdidas se cuantifican en más de US\$ 9 billones y un incremento entre el 40 y 30% en los costos de producción por costos directos e indirectos, relacionadas con las medidas para tolerar enfermedades como el Huanglongbing de los cítricos (HLB) (OIRSA, 2009). Una de estas medidas es la implementación de viveros certificados; sin embargo, la existencia de viveros tradicionales no certificados que venden plantas sin cumplir los requerimientos mínimos de sanidad, afectan la producción y comercialización de plantas certificadas al reducir las ventas de los viveros certificados. En México, con la implementación de la norma fitosanitaria NOM-EME-047-FITO-2009, la producción de plantas en viveros tradicionales no certificados se limitará, aumentando la demanda en los viveros certificados donde se tendrá que producir plantas sanas en menos tiempo para satisfacer la demanda de estas.

De acuerdo a las disposiciones de la norma fitosanitaria NOM-EM-047-FITO-2009, que indica las acciones fitosanitarias para mitigar el riesgo de introducción y dispersión del Huanglongbing de los cítricos en el territorio nacional, los viveros certificados ubicados en zonas donde ésta enfermedad está presente deberán producir plantas cítricas bajo cubierta. Debido a esto será necesario generar conocimientos sobre el manejo y técnicas a utilizar, como por ejemplo el uso de material genético superior, manejo de sombreo en invernaderos, uso de sustratos alternativos al suelo y fertirrigación. Con respecto al uso de sustratos así como las cantidades, fórmulas y las frecuencias de las fertilizaciones para plantas de cítricos de vivero en el país, se basan en la experiencia individual de los viveristas y se carece de información con recomendaciones específicas. Tanto los sustratos como la fertirrigación, pueden conjuntarse con otros aspectos ya establecidos y manejarse fácilmente para reducir el costo y tiempo de producción de plantas en vivero.

2. HIPÓTESIS GENERAL

El tiempo de producción de plantas cítricas certificadas está en función de las características de los sustratos y la fertirrigación estudiados.

2.1. Hipótesis Particulares

1. La producción de plantas cítricas certificadas depende de los factores con potencial de mejoramiento en los sistemas de producción.
2. El funcionamiento de cada sustrato a evaluar en la producción de plantas cítricas depende de sus características individuales y su concentración en mezclas.
3. El desarrollo de las plantas cítricas certificadas depende de las características del sustrato y el uso de fertirrigación.
4. El uso de sustratos genera una reducción en el costo de producción de plantas cítricas respecto al uso del suelo.

3. OBJETIVO GENERAL

Producir plantas cítricas de calidad certificada en un menor tiempo con base en el uso de sustratos y fertirrigación en ambiente protegido.

3.1. Objetivos Específicos

1. Identificar los factores con potencial de mejoramiento en los sistemas de producción de plantas cítricas.
2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los sustratos a utilizar en la producción de plantas cítricas.
3. Evaluar el desarrollo de plantas cítricas certificadas en función del uso de diferentes sustratos y fertirrigación, en ambiente protegido.
4. Comparar la relación costo-beneficio del uso de sustratos y suelo agrícola empleados en la producción de plantas cítricas.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Definición y concepto de Agroecosistema

El origen etimológico de la palabra agroecosistema se deriva de las palabras agro-eco y sistemas. La palabra *agro* se define como la actividad agropecuaria que tiene como fin producir un bien o servicio. El vocablo *eco* se refiere al ecosistema, el cual es modificado y manipulado por el hombre para originar al agro, y el *sistema* hace alusión a la influencia de elementos y factores que en su conjunto hacen funcionar a éste (Moreno, 2010).

Entre las primeras definiciones de este concepto encontramos la de Odum (1972), quien define el agroecosistema como un ecosistema modificado por el hombre, donde la diversidad de especies se transforma, y se distribuye con el fin de hacer eficiente la captación de las diversas formas de energía que entran al sistema, todo con el fin de obtener satisfactores. Esta definición coincide con la de Hernández X. (1977) quien además hace una aportación importante al agregar al que será considerado el actor principal y tomador de decisiones del agroecosistema que es el hombre, sin embargo al igual que Odum (1972) no considera a las propiedades en su definición. Al respecto, Marten (1988) menciona que el funcionamiento del agroecosistema debe evaluarse con base en cinco propiedades que son productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad y autonomía. También describe que un agroecosistema está integrado por aire, agua, suelo, plantas, animales y microorganismos, que interactúan en una zona delimitada, que ha sido modificada por personas para efectos de producción agropecuaria, señalando que un agroecosistema puede ser de cualquier tamaño por ejemplo: un campo, una granja, el paisaje agrícola de un pueblo, una región o una nación. Ruiz (2006) agrega que la delimitación de los agroecosistemas se basa en el nivel de análisis que se requiera, así como en las necesidades docentes, de investigación y de desarrollo. De esta forma, describe al agroecosistema como una unidad de estudio de la actividad agrícola y debe visualizarse bajo un enfoque agroecológico y sistémico, donde, inciden los

factores tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores del ser humano a través del tiempo.

Por lo tanto, el concepto de agroecosistema ofrece un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad. La función de estos depende de los niveles de diversidad e interacciones que ocurren en el medio físico-biológico y socioeconómico en el que está inmerso, así como de los insumos externos (entradas) y los productos o servicios que se extraen de él (salidas) al interactuar con el actor principal y tomador de decisiones en el agroecosistema (Moreno, 2010).

4.2. Enfoque de agroecosistema en la producción de plantas cítricas

El agroecosistema cítrícola es heterogéneo y complejo por la diversidad de subsistemas (especies de cítricos) existentes y las interacciones que se presentan.

Inmersos en el mismo ambiente físico-biótico-político-social de los agroecosistemas cítricos, los viveros productores de plantas cítricas forman un agroecosistema por sí mismos o un subsistema de aquellos, donde las salidas se convierten en entradas de los agroecosistemas cítricos. Las plantas para siembra o resiembra pueden visualizarse como un insumo de la producción primaria que proporciona a los productores el elemento principal de producción, ya sean producidas de forma tradicional o certificada. Estas últimas se producen en el que denominaremos *Agroecosistema Vivero Productor de Plantas Cítricas Certificadas (VPPCC)*, el cual se visualiza y delimita para el estudio y mejoramiento la producción de plantas (Figura 1.1) considerando que un agroecosistema es una entidad real, pero también un modelo teórico conceptual, que se puede utilizar como herramienta teórica metodológica, para su diseño y manejo sustentable (Moreno *et al.*, 2010).

En su definición de agroecosistemas, Marten 1988, Ruiz 2006 y Moreno *et al.*, 2010, incorporan al concepto los factores que influyen en su formación y desarrollo a fin de establecer límites. Para este caso se identificaron factores

socioeconómicos, ambientales y políticos que intervienen directa o indirectamente en ambos agroecosistemas arriba mencionados.

En el ámbito socioeconómico, el fruto es la principal salida del agroecosistema cítrico. La producción y comercialización (distribución, empaque, industrialización, y consumo del producto) del fruto generan empleos y recursos económicos. Estos factores socioeconómicos dan como resultado la conformación de una cadena agroalimentaria a nivel nacional y en algunos casos generan divisas para el país con la exportación de fruta y productos industrializados de éstas.

Los factores ambientales (temperatura, luz, humedad y precipitación) determinan la toma de decisiones del actor principal del agroecosistema; ya que de estos factores dependerá la viabilidad del cultivo en cada zona y se determinarán las entradas al sistema como las variedades cultivadas, los insumos de producción como fertilizantes y plaguicidas, y las tecnologías para riego o cosecha.

La presencia de plagas y enfermedades es otro factor ambiental que determina el tipo de manejo que debe utilizarse en cada zona. Debido a la presencia de las enfermedades de importancia cuarentenaria como el VTC y HLB, y sus vectores *Toxoptera citricida* y *Diphorina citri* en los agroecosistemas cítricos de México, se implementaron las normas de producción de plantas cítricas certificadas (NOM-079-FITO-2002 y NOM-EM-047-FITO-2009) dando lugar al factor político en la producción. Estas se basan en experiencias de otros países y buscan proteger los factores socioeconómicos de dichos agroecosistemas.

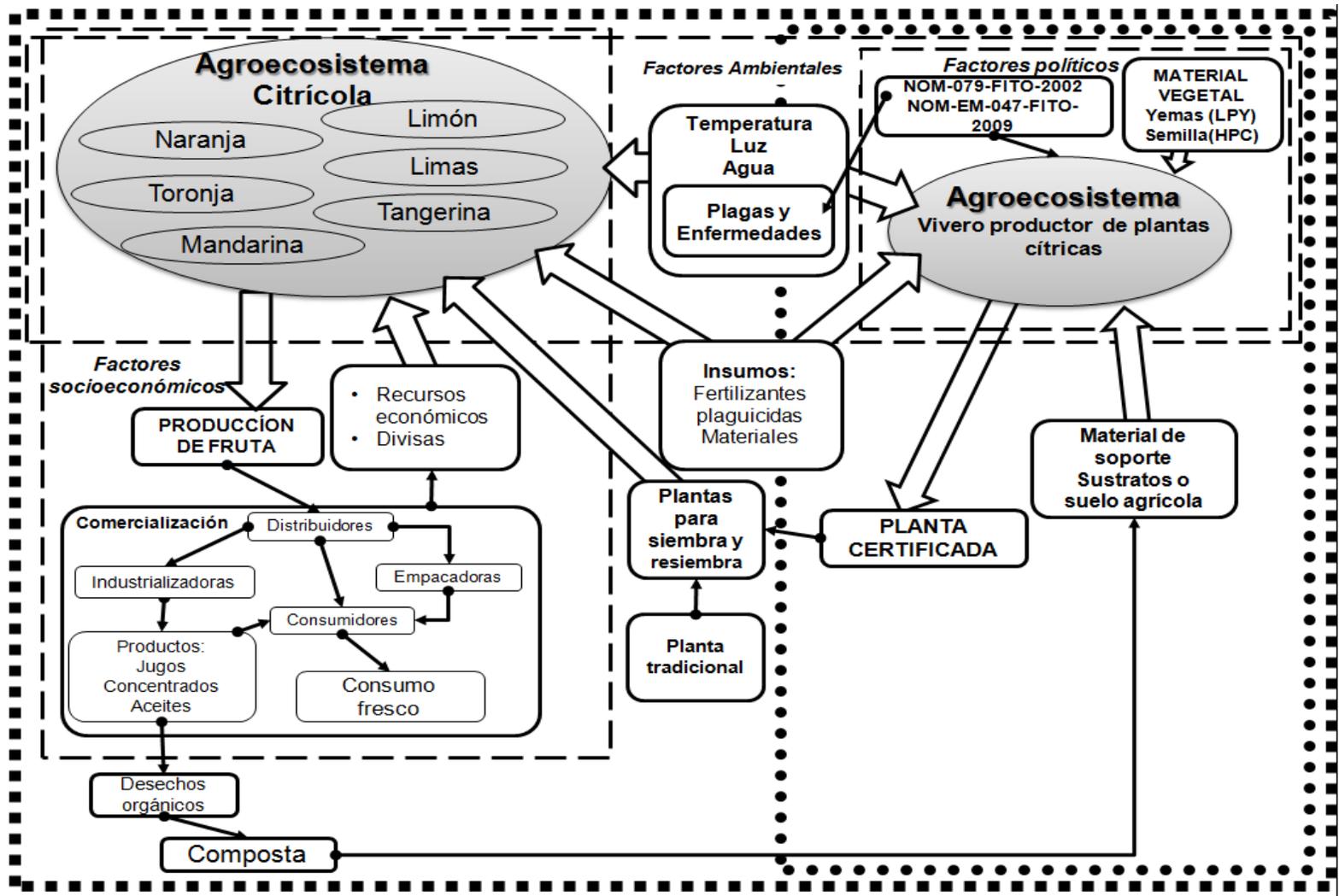


FIGURA 1. Esquematación de las interacciones del agroecosistema vivero productor de plantas cítricas y su relación con el agroecosistema citrícola.

La relación de los factores ambiental y político considera otros aspectos importantes como la producción de plantas en ambiente protegido en lugares donde la enfermedad HLB de los cítricos está presente. En zonas libres de HLB, las plantas cítricas pueden producirse a cielo abierto, por lo que es decisión del viverista, modificar el agroecosistema en un grado mayor mediante la construcción de instalaciones protegidas (como indica la NOM-079-FITO-2002) para aislar a las plantas de factores bióticos-ambientales que puedan dañarlas.

Los factores, entradas y salidas que interfieren en los agroecosistemas deben estudiarse y manejarse sin deteriorar ni contaminar los recursos naturales (Altieri, 1999 y 2002). De esta forma el uso de desechos orgánicos, generados de la industrialización de la producción primaria del agroecosistema cítrícola, transformado en composta para su uso como sustratos en el agroecosistema VPPCC, proporciona un insumo sustentable y económico, generando beneficios tanto al ambiente como al viverista y al productor primario.

Por lo tanto, la investigación generada en torno al agroecosistema VPPC y el uso de recursos sustentables en su producción tiene relevancia y relación con todos los factores inmersos en el agroecosistema cítrícola. Esta investigación tiene como propósito el uso de recursos sustentables y aplicación de nuevas tecnologías en la producción de plantas cítricas certificadas, bajo normas que aseguran la productividad, estabilidad y continuidad del agroecosistema cítrícola, a fin de que dichas plantas estén libres de enfermedades que pudieran reducir la producción o poner en riesgo fitosanitario la citricultura de México.

Esta investigación tiene como propósito el uso de recursos sustentables y aplicación de nuevas tecnologías en la producción y uso de plantas cítricas certificadas libres de enfermedades que pudieran reducir la producción o poner en riesgo fitosanitario la citricultura de México. El uso de estas plantas favorece la productividad, estabilidad y continuidad del agroecosistema cítrícola.

4.3. Uso de sustratos en la producción de plantas cítricas

4.3.1. Características de los sustratos

El conocimiento de las propiedades del sustrato, es necesario para optimizar la producción de plantas en vivero, además de disminuir y evitar el agotamiento de los recursos como el suelo, el cual ha sido el principal medio de crecimiento en los viveros (González *et al.*, 2000).

Un sustrato ideal, independientemente de su origen, debe reunir las características siguientes: baja densidad, contenido de nutrientes adecuados, alta capacidad de intercambio catiónico, buena capacidad de retención de agua, buena aireación, buen drenaje, cohesión entre las partículas, estructura estable, reproductibilidad, disponibilidad, bajo costo, fácil manejo y estar libre de enfermedades como nematodos y hongos del género *Phytophthora* (Pastor, 1999). Además, este mismo autor menciona la importancia de poner atención a los parámetros físicos, en especial al binomio “retención de agua-aireación” que involucra los parámetros retención de agua fácilmente disponible (AFD) con valores óptimos de 20 a 30 %, agua de reserva (AR) de 4 a 10 %, agua difícilmente disponible (ADD), capacidad de aireación (CA) de 10 a 30 % y espacio poroso total (EPT) >85 %. Este binomio determina el éxito o fracaso del material usado como sustrato.

En general, las propiedades físicas de un sustrato no pueden ser modificadas fácilmente como las propiedades de tipo químico; por lo que es necesario su caracterización (Pastor, 1999; Zanetti *et al.*, 2003a), a fin de seleccionar adecuadamente los sustratos por separado o en mezclas de acuerdo a su potencial. Aun cuando se realice el seguimiento de las normas de producción, la selección rigurosa de semillas de calidad provenientes de plantaciones de alto rendimiento, se utilicen las mejores técnicas de injerto y se disponga de la infraestructura de vivero y sistemas de riego apropiados, esto no sería suficiente para producir plantas de alta calidad sin la selección adecuada del sustrato (Hidalgo *et al.*, 2009).

4.3.2. Selección del sustrato apropiado

La selección de sustratos alternativos al suelo depende de varios factores, como su costo, disponibilidad, facilidad de manejo y la normatividad que cada país productor de plantas certificadas establece. Un sustrato apropiado, no solo debe tener un alto rendimiento en la producción agrícola, sino que también debe tener un aprovechamiento sustentable y económicamente viable, ya que independientemente de su origen orgánico o mineral, es preferible utilizar aquellos disponibles cerca de la zona de producción, para evitar traslados de largas distancias que incrementen su costo (Pastor, 1999; Hu y Barker, 2004 y Mugnai *et al.*, 2007).

Uno de los sustratos más utilizados es la turba, llamada comercialmente peat moss, ya que presenta características físicas, químicas y biológicas de un sustrato ideal. Sin embargo, en los últimos años, la demanda de este material ha deteriorado las zonas pantanosas de donde se extrae, incrementando su precio debido a los costos de importación (Hidalgo *et al.*, 2009).

Otro de los sustratos principales utilizados en la producción de plantas de vivero es la fibra de coco, ya que ésta presenta la mayoría de las características de la turba, teniendo como desventaja principal la variación en sus características de granulometría y conductividad eléctrica (CE), que dependen del lugar de origen; lo que hace necesaria su caracterización previo a su uso (Pire y Pereira 2003; López *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2008). Entonces, si se considera lo anterior, ésta puede tener un uso potencial por ser un desecho agrícola de alta reproducibilidad y amigable con el ambiente.

El aumento del uso de otros materiales alternativos al suelo, utilizados como sustratos, se promueve debido a la sensibilización social ante el agotamiento de este recurso de lenta renovación, ya que se apegan a la tendencia de la agricultura moderna, que demanda utilizar materiales de desecho o de uso secundario en explotaciones agrícolas e industriales (Pastor, 1999). Dependiendo de la actividad que los produce, estos materiales se clasifican como de origen ganadero, agrícola, forestal, industrial y urbano (Durán y Henríquez, 2007) de los cuales se generan las compostas. Existen diversas investigaciones en cultivos frutícolas, donde se han utilizado estos materiales

como sustratos, los cuales tienen a corto plazo, grandes posibilidades de crecimiento en la actividad de viveros e invernaderos (Ozores *et al.*, 2003), en la que se incluye la producción de plantas cítricas.

Las compostas que se originan de estiércol de bovino, generalmente presentan, cantidades elevadas (mayor de 4 %) de nitrógeno N (Hernández *et al.*, 2010) debido a esto y la CE elevada, generalmente es necesario utilizarlo en mezclas (Búres, 1997), éstas aportan la cantidad de N suficiente, generando ahorros económicos. Aquellas que se originan de desechos de pulpa de café, presentan características químicas y físicas, similares a las de un sustrato ideal, ya que presentan un pH y CE estables e idóneos, así como una textura y densidad adecuadas para la mayoría de los cultivos. Aun cuando, la composta de desechos del cultivo de plátano presenta características similares a la del café, su conductividad eléctrica es elevada, por lo que no es recomendable para su uso en cítricos. Existen otros sustratos basados en residuos orgánicos como cascarilla de arroz, vermicompostas diversas, bagazo de caña, entre otros, que deben considerarse como una opción en la producción en viveros (Durán y Henríquez, 2007). También, el compostaje de follaje de árboles nativos, genera un sustrato con estructura y características apropiadas para su uso en la agricultura (Gerding *et al.*, 1994).

El uso de las vermicompostas se ha popularizado en la producción de plantas hortícolas o de vivero, debido a las tendencias ecológicas y amigables con el ambiente. Al respecto, Durán y Henríquez (2007), reportan que las compostas de residuos de café y estiércol de bovino presentan niveles de salinidad por abajo de lo normal, por lo que son aptas y recomendables para el cultivo de cítricos, a diferencia de aquellas de residuos domésticos, desechos de cultivo de plátano y desechos de plantas ornamentales.

4.3.3. Uso y elaboración de mezclas de sustratos

Además de utilizar sustratos de un solo origen, algunas investigaciones se han enfocado a la obtención y uso de mezclas de sustratos con características similares a la turba (Zamora *et al.*, 2005), a fin de producir plantas de calidad en períodos cortos y con menores costos de producción (Buyatti, 2000).

El proceso de mezclado y manejo posterior del mismo, tiene un impacto significativo sobre sus propiedades físicas y químicas, ya que el sustrato que se emplea en el contenedor, continúa su descomposición, reduciendo su volumen inicial y consecuentemente el volumen disponible para la exploración y crecimiento radical, así como la disponibilidad de agua y nutrientes para las raíces. Entonces si a un sustrato orgánico, que no ha terminado el proceso de descomposición, se le añaden fuentes de nitrógeno para la nutrición de la planta, se originan cambios de pH y conductividad eléctrica creando problemas en la asimilación de nutrientes (Hidalgo *et al.*, 2009). Por lo tanto es recomendable identificar el estado correcto de descomposición, contemplando características como la temperatura que debe ser igual a la del ambiente, la relación C/N <15 y el pH con valores entre 6.5 y 8 (O´Ryan y Riffo, 2007).

En México, al igual que otros países, las mezclas de sustratos se han obtenido tradicionalmente por el método de ensayo y error, que consiste en formular mezclas donde las proporciones de los sustratos utilizados, se establecen de manera arbitraria, sin ser necesariamente la óptima, ya que no se exploran todas las combinaciones posibles de los diversos materiales (Zamora *et al.*, 2005, Cruz *et al.*, 2010). Sin embargo, existen investigaciones acerca del uso de técnicas de programación lineal para la obtención de mezclas. No obstante, la comprensión y desarrollo de los aspectos teóricos y de cómputo de esta metodología, han limitado su uso en el ámbito agrícola, debido a que se requiere el conocimiento de los conceptos y de las técnicas fundamentales de varios temas matemáticos, tales como matrices y determinantes, vectores y espacios vectoriales, conjuntos convexos, desigualdades lineales, solución a ecuaciones lineales simultáneas, entre otros (Gass, 1969).

Al respecto, la opción para llevar a cabo el cálculo de mezclas de materiales, puede ser a través de la utilización de otros programas más prácticos que la programación lineal, como el programa SAS (Statistical Analysis System), el cual permite realizar los mismos cálculos (Cruz *et al.*, 2010). Por ejemplo, Zamora *et al.* (2005), obtuvieron mezclas con base en las características físicas y químicas de los sustratos de forma individual, en función de tres variables de diseño, materia orgánica (MO), capacidad de aireación (CA) y espacio poroso total (EPT)) con diferentes niveles

de restricción para cada variable. Además de estas variables, se pueden elegir mezclas con base en su costo, considerando éste también como una variable de diseño (Cruz *et al.*, 2010).

4.3.4. Manejo de los sustratos

Brasil, es uno de los principales productores de cítricos, debido a sus plantaciones extensivas, donde la presencia de la mayoría de las enfermedades reportadas para cítricos, ha generado en las últimas décadas, un sistema superior de producción de plantas en viveros tecnológicamente avanzados y la realización de investigación pertinente al respecto. En este sistema de producción, la investigación se ha enfocado en gran parte al uso de sustratos y su relación con el tamaño y forma de recipiente, siendo los sustratos más comunes la composta de corteza de pino, turba, material inerte, carbón y fibra de coco. Sin embargo la selección del material y sus proporciones dependen de la disponibilidad y el costo del producto final en el mercado (Zanetti *et al.*, 2003a).

Algunos estudios relevantes indican que la cascarilla de arroz mezclada con estiércol de bovino y suelo podzólico (suelo con pocos nutrientes y nula porosidad) en proporción 3:1:1, produce el mismo resultado que sustratos comerciales en la velocidad de emergencia de semilla de portainjertos naranjo trifoliado (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.), citrange Troyer (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.), citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) x *Citrus paradisi* Macf.) y lima Rangpur (*Citrus limonia* Osb.) (Schäfer *et al.*, 2005). En otros estudios, Fochesato *et al.* (2006), mencionan que la mezcla de composta de cáscara de pino procesada + vermiculita expandida + perlita expandida + turba (en proporción 1:1:1:1), presentó los mejores resultados para las variables de crecimiento en plantas cítricas. Como se mencionó anteriormente, los desechos de carbón se utilizan como sustrato. En referencia a esto, Zanetti *et al.* (2003b) encontraron que una concentración de 9:1 de carbón + sustrato comercial (composta de cáscara de pino y vermiculita) influye de forma favorable en el crecimiento de plantas cítricas; un aumento de carbón en la mezcla redujo el espacio de aireación disminuyendo también el desarrollo radicular y consecuentemente el de la parte aérea.

Además de Brasil, en otros lugares del mundo se realizan investigaciones del uso de los sustratos arriba mencionados, tal es el caso de Mumtaz *et al.* (2006) quienes en Pakistan obtuvieron los mejores resultados en altura de la planta, área foliar, diámetro del tallo y número de hojas de limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.) utilizando la mezcla de turba + arena en proporción 1:1 en comparación con otras mezclas de sustratos con diferentes proporciones de turba, arena, limo, estiércol de bovino y composta de champiñón.

En México, el uso de sustratos en la producción de plantas cítricas es un tema poco estudiado. Si bien existen investigaciones, estas son particulares de viveros comerciales y los resultados no son socializados. Por lo anterior, es conveniente considerar los resultados de investigaciones hechas en países productores de cítricos como Brasil, EUA y España para aplicarlos al sistema de producción citrícola.

4.4. Fertirrigación: características de la solución nutritiva

Existen diversas soluciones nutritivas formuladas para realizar cultivo sin suelo cuya composición química varía ampliamente (Smith *et al.*, 1983). Las concentraciones de los nutrientes requeridos para satisfacer la demanda de las plantas, difieren de acuerdo con la especie; por lo tanto, no se puede tener una solución única satisfactoria (Juárez *et al.*, 2006), sobre todo si se considera que al aplicar la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorber iones a muy bajas concentraciones; sin embargo, es probable que a concentraciones demasiado bajas, la demanda mínima de determinados nutrientes no se satisfaga (Steiner, 1961). Consecuentemente, se requiere investigación pertinente de acuerdo a la especie vegetal.

Las características químicas de la solución nutritiva, se reflejan en la respuesta de las plantas. Dentro de las más importantes está la presión osmótica, la cual depende de la concentración total de iones y la cantidad de partículas o solutos disueltos (Juárez *et al.*, 2006). Por lo que un aumento de la presión osmótica, debido al incremento en el contenido de nutrientes o de otros iones en la solución nutritiva, provoca que la planta realice un esfuerzo mayor para absorber agua y algunos nutrientes, y por consiguiente exista un desgaste de energía metabólica (Marschner 1995; Juárez *et al.*, 2006).

Cuando el aumento de la presión total de la solución se aleja de la óptima, causará una disminución en el rendimiento de la planta, que puede ser atribuido erróneamente al incremento de NO_3^- de la solución nutritiva.

El pH y la CE, son otras características químicas importantes a considerarse en el establecimiento de un programa de fertirrigación, ya que el comportamiento de éstos varía dependiendo de los sustratos y del agua de riego. Por consiguiente, estos deben ajustarse de acuerdo a los requerimientos del cultivo de interés.

En una solución nutritiva idónea donde todos los iones están en forma soluble y activa, el pH determina la disponibilidad de algunos de éstos (Steiner, 1961). En general, los valores de pH recomendados para el cultivo de plantas, varían entre 5.0 y 6.5. Valores entre 4.6 y 5.3 pueden afectar la producción de materia seca, y limitar la disponibilidad de nutrientes, en especial de los micronutrientes; mientras que un pH entre 6 y 7 los hacen más disponibles. Boaventura *et al.* (2004) y Rezende *et al.* (2010), reportan que una reducción del pH entre 300 y 360 días después de la emergencia de las plántulas, disminuyó la concentración de algunos micronutrientes como el zinc (Zn) y el manganeso (Mn), cuya solubilidad aumenta con la acidificación.

También existe una relación entre el pH y los macronutrientes; por ejemplo un pH entre 5 y 6 favorece la presencia del H_2PO_4^- , haciendo al P más asimilable. Contrariamente, valores de pH mayor a 7.5, puede precipitar este elemento (Vale y Prado, 2009). El pH también afecta la actividad de la combinación de P con algunos microelementos como el hierro (Fe) y aluminio (Al), al existir una relación proporcional entre la acidez y su disponibilidad (Rezende *et al.*, 2010). De forma contraria, cuando el pH es alto, el calcio (Ca) tiene una alta concentración, debido a la posible precipitación que forma el compuesto poco soluble CaHPO_4 (da Silva *et al.*, 2007). Otro ejemplo de la interacción de macronutrientes y el pH, es cuando este último disminuye en el sustrato debido a la liberación de iones H^+ , que se producen en el proceso de nitrificación cuando se aplica urea como fuente de altas dosis de N de 3200 y 4800 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Neto *et al.*, 2002). Debido a que los portainjertos cítricos requieren diferentes

valores de pH para desarrollarse adecuadamente, es importante conocer y ajustar los valores de éste en el sustrato donde se cultiva y del suelo donde se trasplantará.

En referencia a la CE, los valores promedio de $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ durante el período de crecimiento de plántulas de cítricos, ocasionan una acumulación de sales en el sustrato, encontrando incrementos de CE hasta de $5.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Boaventura *et al.*, 2004).

En la solución lixiviada existe una correlación entre los valores de CE y la suma de los iones. Los cationes Ca y Magnesio (Mg) y el anión SO_4^{-2} son los que están más estrechamente correlacionados. En relación a esto, se reporta que plantas de lima Rangpur y citrimento Swingle mostraron una variación amplia entre estos elementos en la suma de los iones y la CE, aunque ambos encajan en la correlación descrita (Boaventura *et al.*, 2004). Finalmente, existe una relación directa entre la conductividad eléctrica (CE) y la presión osmótica (PO) de una solución y se expresa de la siguiente manera: $\text{PO} = \text{CE} \times 0.36$.

4.4.1. Importancia de los macronutrientes en la solución nutritiva

Referente a los macronutrientes, el N es el elemento principal que se considera en un programa de fertirrigación, y se vuelve especialmente crítico para la producción de plantas cítricas, donde la densidad de plantas es elevada y presenta un crecimiento vegetativo rápido (Neto *et al.*, 2002; Vale y Prado, 2009), ya que interfiere directamente en el balance del crecimiento y forma de la estructura radical y de la parte aérea, alterando la morfología de la planta (Marschner, 1995); un nivel adecuado de N generalmente proporciona un incremento lineal en el área foliar (Vale y Prado, 2009), responsable de la captación de energía solar y la producción de materia orgánica a través de la fotosíntesis (Bernardi *et al.*, 2000a).

La baja disponibilidad de N en plantas cítricas, ocasiona menor crecimiento en la parte aérea y presencia de raíces alargadas sin división celular; mientras que un exceso de N genera un sistema radical pobre y con alta división celular, estimulando el crecimiento de la parte aérea (Marschner, 1995). También, este exceso puede ocasionar reducción del transporte de azúcares y susceptibilidad al ataque de plagas (Bernardi *et*

al., 2000a), probablemente debido al aumento de la presión osmótica del sustrato (Rozane *et al.*, 2009), además de daños en el ambiente debido a la lixiviación (Prado y Vale, 2008).

Además, el N participa en la composición estructural de la molécula de la clorofila generando una correlación positiva entre el contenido de ésta en la hoja y las características de crecimiento de las plantas (Bernardi *et al.*, 2000b). El nivel de N en las hojas puede verificarse midiendo la concentración de clorofila; el contenido total idóneo de ésta, varía de un portainjerto a otro, de acuerdo a su estructura y características foliares. Por ejemplo, las concentraciones de clorofila en los portainjertos lima Rangpur (*Citrus limonia* Osb.), *Citrus volkameriana*, mandarina Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. x Tan) y mandarina Sunki (*Citrussunki* (Hayata) Hort. ex Tanaka) son de 2.46 a 3.94, 2.27-4.23, 3.29-4.00 y 1.80-3.16 mg·dm⁻² hoja, respectivamente. Estos contenidos están directamente correlacionados con la altura, masa seca foliar y radical (Neto *et al.*, 2002). Con base en lo anterior, la coloración de las hojas puede ser un indicador de la concentración de clorofila para identificar deficiencias de N y corregirlas.

Las necesidades de N en plantas de cítricos, está en función del portainjerto o patrón (Esposti y Siquerira, 2004). Por ejemplo, dosis de 1836 mg·dm⁻³ N, ocasionaron inhibición del crecimiento de naranja 'Valencia' injertada en el citrumelo Swingle, cultivado en cáscara de pino, vermiculita y perlita (Prado y Vale, 2008) pero no tuvo el mismo efecto en lima Rangpur (Bernardi *et al.*, 2000b), lo que indica que este último tiene un mayor requerimiento de N con respecto al Swingle. Sin embargo, este comportamiento puede ser afectado por el sustrato empleado ya que este mismo patrón cultivado en composta de cáscara de pino y vermiculita, tuvo una reducción de la materia seca de la parte aérea con dosis de 1840 mg·dm⁻³ de N y un aumento con 920 mg·dm⁻³ de N (Rozane *et al.*, 2009). Otros resultados indican que los portainjertos lima Rangpur, *C. volkameriana*, Cleopatra, mandarina Sunki' y tangelo Orlando (*Citrus paradisi* Macf. x *Citrus reticulata* Blanco), fertilizados con dosis de 1240, 1417, 1170, 1145 y 1117 mg·dm⁻³ N respectivamente, presentaron mayor altura; estos portainjertos se cultivaron en una mezcla de sustratos de estiércol de bovino, vermiculita expandida y humus en proporción 1:1:1. Fertilizaciones entre 3,200 y 4,800 mg·dm⁻³ de N, ocasionaron bajo

crecimiento de los mismos patrones (Neto *et al.*, 2002). La variación en la respuesta de crecimiento, indica la existencia de una relación entre la dosis de fertilización, patrón y sustrato, lo cual debe considerarse al producir plantas bajo este sistema, utilizando estos factores.

Además de lo anterior, el N interfiere con los niveles de acumulación de otros elementos; por ejemplo, la fertilización nitrogenada tiene un efecto cuadrático positivo sobre los niveles de Mg en las raíces. Los niveles de Ca, Mg, y S se relacionan positivamente cuando se adicionan dosis intermedias de N (Bernardi *et al.*, 2000b).

El fósforo (P), otro macronutriente, es responsable de la transferencia de energía en los procesos metabólicos de las plantas (Vale y Prado, 2009); por lo que es importante en la fertirrigación de cítricos. Al igual que el N, la concentración idónea de P es diferente para cada portainjerto, teniendo un límite para el aumento en el volumen radical, y proveer a las plantas de mejores condiciones en su establecimiento en campo (Bernardi *et al.*, 2000a). Al respecto, se ha observado que la relación de N y P en naranja Valencia injertada en lima Rangpur es inversamente proporcional; lo que indica que cuando existen bajos niveles de N aumenta la concentración de P y viceversa, por ello, es difícil encontrar síntomas de excesos de estos dos elementos al mismo tiempo (Prado *et al.*, 2008).

En relación a su efecto en el crecimiento de las plantas, Sena *et al.* (2004) reportan que dosis inferiores a $250 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P ocasionan incremento en la altura del patrón tangerina Cleopatra cultivado en suelo típico de horizonte A y arena lavada en proporción 3:1; dosis mayores provocan el efecto contrario. La aplicación de P, con una dosis máxima de $84 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ en lima Rangpur cultivada en cáscara de pino y vermiculita, proporciona un crecimiento cuadrático en el área foliar (Vale y Prado 2009).

A diferencia de lo que ocurre con el N, los niveles de P son proporcionales a los niveles de potasio (K) (Reese y Koo, 1975), el cual, en concentraciones adecuadas, genera relaciones positivas entre el crecimiento de hojas y el proceso fotosintético (Vale y Prado, 2009). En cuanto a la interacción de éste con N, existe un efecto dominante del N sobre el K el cual disminuye su concentración al elevarse los niveles de N (Prado

et al., 2008). Además, el catión de K inhibe la absorción de calcio (Ca) y magnesio (Mg); por lo tanto, altas dosis de K inducen una reducción en la concentración de estos dos elementos, generando deficiencias visibles en hojas (Reese y Koo, 1975; Bernardi *et al.*, 2000b; Rozane *et al.*, 2009). El Ca y K tienen un efecto de inhibición competitiva. Así, el exceso de uno conduce a la reducción en la absorción del otro ya que compiten fuertemente por los sitios de absorción (Bernardi *et al.*, 2000b). La aplicación de nitrato de calcio como fuente principal de Ca y de N proporciona algunos beneficios como elevada solubilidad, efecto alcalino en el sustrato y contribuye al suministro de calcio en las plantas, nutriente requerido en mayor cantidad por los cítricos (Scivittaro *et al.*, 2004). De acuerdo a esto, con la aplicación de N 1.25 y K 0.42 g.planta⁻¹, se observaron mayores niveles de Ca (10.71 g.kg⁻¹) en hojas nuevas (Bernardi *et al.*, 2000a).

La concentración de N total (N-NH₄+N-NO₃) y de K en plantas cítricas varía con el uso de fertirrigación o fertilizantes de liberación lenta. Estos generan pérdidas de N y K en cantidades similares o significativamente superiores, en relación con la fertirrigación. Otros estudios indican pérdidas por lixiviación de 7, 10 y 56 % de NPK con el uso de fertilizantes de liberación lenta y de 8, 12 y 26 % de NPK en la fertirrigación en los porainjertos lima Rangpur y citrumelo Swingle cultivados en un sustrato comercial de composta de cascara de pino y vermiculita (Boaventura *et al.*, 2004). Estos últimos valores son cercanos a los observados por Bernardi *et al.* (2000a) quienes utilizaron el mismo sistema de manejo.

4.4.2. Importancia de los micronutrientes en la solución nutritiva

Existen microelementos esenciales en la elaboración de soluciones nutritivas que ayudan al desarrollo de las plantas. El manejo inadecuado de estos puede propiciar precipitaciones de algunos elementos en la solución generando alteraciones diversas en las plantas.

Por ejemplo, el cobre (Cu) es importante en el metabolismo de la planta; su concentración es inversamente proporcional a la concentración de los iones unidos a los complejos de proteínas. Por lo tanto, un aumento de éste reduce varios procesos

bioquímicos, como el transporte de electrones, la fotosíntesis y la actividad enzimática, causando alteraciones en la morfología e inhibiendo el desarrollo de las plantas (Fernandes y Henriques, 1991).

Los niveles de Cu encontrados principalmente en hojas de plántulas de naranja “Valencia”, indican una demanda mayor que en plantas adultas (Boaventura *et al.*, 2004; Mattos Jr. *et al.*, 2010; Rezende *et al.*, 2010). La deficiencia de Cu puede ser relacionada al exceso de N cuando éste se aplica en dosis altas para un rápido crecimiento de las plántulas de cítricos (Mattos Jr. *et al.*, 2010).

Otra deficiencia de elementos común en plantas cítricas producidas en ambiente protegido es la del hierro (Fe) que se asocia a factores que determinan la disponibilidad de otros nutrientes, habiendo interacciones con K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn (Baptista *et al.*, 2009). La fertirrigación de este elemento se realiza preferentemente mediante Fe quelatado el cual proporciona estabilidad a los iones de metal en forma soluble en la solución y el sustrato, pero su eficacia depende de otros factores tales como el pH de la solución y el agente quelatizante de la planta, que debe tener la capacidad de remover el hierro de la molécula (Ferrarezi *et al.*, 2007).

4.4.3. Interacción de macronutrientes en la fertirrigación

La relación de los macronutrientes (N, P y K), es la principal interacción considerada al establecer un programa de fertilización a tal grado que muchas de las recomendaciones se realizan en función de ésta. Por ejemplo, Prado *et al.* (2008), reportan mayor crecimiento en el aérea foliar de las plantas de naranja valencia, injertadas en citrumelo Swingle y cultivadas en composta de cáscara de pino y vermiculita con dosis de 459, 184, y 876 mg·dm⁻³ de N, P y K. En plántulas de Naranja Valencia, injertadas en lima Rangpur y cultivadas en composta de cáscara de pino, vermiculita y perlita expandida, las dosis de N 9.85 g, P 2.86 g y K 7.99 g·planta⁻¹ presentaron un mayor crecimiento (Bernardi *et al.*, 2000a). En contraste Vale y Prado, (2009) reportan que dosis de N, P y K de 1840, 98 y 870 mg·dm⁻³, respectivamente, proporcionan mayor crecimiento de raíces y área foliar en portainjertos lima Ragpur, cultivados en cáscara de pino y vermiculita comercial. Otros estudios indican que dosis

de 920, 790 y 100 mg·dm⁻³ de N, P y K respectivamente, aumentan el área foliar y la masa seca de la parte aérea, respecto al testigo de estos portainjertos cultivados en los sustratos mencionados, produciendo plantas en menos tiempo y en consecuencia, un ahorro económico en la producción (Rozane *et al.*, 2009).

La acumulación de nutrientes en las distintas partes de la planta, muestra cómo y dónde se asimilaron los nutrientes proporcionados, pudiendo variar de un portainjerto a otro y dependiendo de los factores que determinan su desarrollo. Rozane *et al.* (2009) encontraron una acumulación de NPK en raíces superior al 50 %, con relación a la encontrada por Bernardi *et al.* (2000b) quienes reportaron 30 % y 70 % de acumulación de NPK en la parte radical y aérea en plantas de lima Rangpur cultivadas en cáscara de pino y vermiculita. Esto también fue observado por Rezende *et al.* (2010), quienes describen que la acumulación de nutrientes en este portainjerto obedece al siguiente orden, macronutrientes: hojas> tallo> raíz; y los micronutrientes: raíz> hojas> tallo. Según Marschner (1995), en general, el N, P, K y Mg se acumulan en las hojas como resultado de actuar, solos o conjuntamente en la síntesis de clorofila, en la apertura y cierre estomatal y la síntesis de ATP. Rezende *et al.* (2010), no encontraron este patrón de acumulación en lima Rangpur cultivadas en cáscara de pino, vermiculita y perlita, donde los nutrientes como N, Ca, Mg y Cu se acumularon mayormente en las hojas, mientras que P tuvo una mayor concentración en el tallo y K, S, Fe, Mn y Zn se acumularon en las raíces. Para este mismo patrón, Rozane *et al.* (2009) reportan una acumulación mayor de N, P, Mg, S, B, Mn y Zn en las raíces y P, K, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn en la parte aérea, respecto al testigo sin fertilización.

5. LITERATURA CITADA

- ALTIERI M., A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorail Nordan-Comunidad. 327 p.
- ALTIERI M., A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1971:1–24.
- BAPTISTA L., Z.; BIAGGIONI M. A., M.; BARBOSA A., D.; FONTES, J. C.; CICOLIN V. J. B., 2009. Eficiência de fontes de ferro na produção de mudas cítricas em ambiente protegido. Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Botucatu.

- BERNARDI A. C., DE C.; CARMELLO Q. A., DE C.; DE CARVALHO S., A. 2000a. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. *Scientia Agricola* 57(4):733-738.
- BERNARDI A. C., DE C.; CARMELLO Q. A., DE C.; DE CARVALHO S., A. 2000b. Macronutrientes em mudas de citros cultivadas em vasos em resposta à adubação NPK. *Scientia Agricola* 57(4): 761-767.
- BOARETTO A., E.; NETO P., S.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA M., W.; TRIVELIN P. C., O. 1999. Fertilização foliar de nitrogênio para laranjeira em estágio de formação. *Scientia Agrícola* 56(2): 621-626.
- BOAVENTURA P. R., R.; QUAGGIO, J. A.; ABREU M., F.; BATAGLIA O., C. 2004. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. *Rev. Bras. Frutic.* 26 (2): 300-305.
- BURÉS, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 193p.
- CONWAY, G. R.; E. B. BARBIER. 1990. *After the Green Revolution: Sustainable Agriculture for Development*. Earthscan Publications Ltd. London, England. pp. 162-193.
- CRUZ C., E.; SANDOVAL V., M.; VOLKE H., V.R; ORDAZ C., V.; TIRADO T., J. L.; SÁNCHEZ E., J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28(3): 219-229.
- DA SILVA M. A., C.; NATALE, W.; PRADO R., DE M.; CORRÊA M. C., M.; STUCHI E., S.; ANDRIOLI, I. 2007. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranjeira pêra em produção. *Rev. Bras. Frutic.* 29(3): 606-612.
- DURÁN L.; HENRÍQUEZ C., 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.
- ESPOSTI M. D., D.; DE SIQUEIRA D., L. 2004. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros produzidos em recipientes. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 136-139.
- FERNANDES J. C.; HENRIQUES F. S. 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *Bot. Rev.* 57(3): 246-273.
- FERRAREZI R., S.; BATAGLIA C., O.; FURLANI, P. R.; SCHAMMASS E., A. 2007. Iron Sources For Citrus Rootstock Development Grown On Pine Bark/Vermiculite Mixed Substrate. *Sci. Agric.* 64(5): 520-531.
- FOCHESATO, M. L.; DE SOUZA P. V., D.; SCHAFFER, G.; SCHMATZ, M. H., 2006. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. *Ciencia Rural*. 36(5):1397-1403.

- GASS, S. I. 1969. Programación lineal. Métodos y Aplicaciones. Ed. Continental. México, D.F. 444 p.
- GERDING, V.; GREZ, R.; RONDANELLI, G. V., 1994. Descomposición de corteza de árboles nativos para la formación de sustratos para el cultivo de plantas. *Bosque* 15(2):11-18.
- GONZÁLEZ C., M. C.; FERRERA C., R.; VILLEGAS M., A.; OROPEZA, J. L. 2000. Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. *Terra Latinoamericana* 18(4): 369-377.
- GRUSZYNSKI, C.; KÄMPF, A. N. 2004. Residues of *Aleurites fordii* (euphorbiaceae) as a component for plant substrates, pp 171-176. *In: Acta Horticulturae*. ALSANIUS, B; JENSÉN. P; ASP, H. (eds) Porto Alegre, Brasil.
- HERNÁNDEZ X., E. 1977. Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. *Agroecosistemas de México*. Colegio de Postgraduados-ENA. México. pp. 321-333.
- HERNÁNDEZ, J.; MÁRMOL, L.; GUERRERO, F.; SALAS, E.; BÁRCENAS, J.; POLO, V.; COLMENARES, C. 2010. Caracterización química, según granulometría, de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Rev. Fac. Agron.* 27:491-520.
- HIDALGO L., P. R.; SINDONI V., M.; MÉNDEZ N., J. R., 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9 (2): 282-288.
- HU, Y.; BARKER, A. 2004. Evaluation of composts and their combinations with other materials on tomato growth. *Communications in Soil Science and Plant analysis* 35(19-20): 2789 – 2807.
- JIMÉNEZ, V. R., ZAMORA, R. V., 2010. Principales cultivares y patrones utilizados en la citricultura. Memoria, Viveros de cítricos en el contexto fitosanitario actual. La Habana, Cuba. pp. 3-48.
- JUÁREZ H., MA. DE J.; BACA C., G. A.; ACEVES N., L. A.; SÁNCHEZ G., P.; TIRADO T., J. L.; SAHAGUN C., J.; COLINAS DE L., MA. T., 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31(4): 246-253.
- LÓPEZ P., L.; CADENAS N., R.; LOBIT P.; MARTINEZ C., O.; ESCALANTE L., O., 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2): 1771-174.
- MARSCHNER. H., 1995. Mineral Nutrition Higher Plants. 2a Ed. Academic Press. San Diego C.A. EEUU. 889 p.
- MARTEN, G. G. 1988. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. *Agricultural Systems* 26: 291-316.

- MATTOS Jr D.; RAMOS U., M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. 2010. Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. *Bragantia* 69(1): 135-147.
- MORENO SECEÑA, J. C. 2010. Evaluación del manejo del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar. Tesis de Doctorado del Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. 18 p.
- MUGNAI, S.; PASQUINI T.; AZZARELLO, E.; PANDOLFI, C.; MANCUSO, S. 2007. Evaluation of composted green waste in ornamental container-grown plants: effects on growth and plant water relations. *Compost Science & Utilization* 15(4):283-287.
- MUMTAZ K., M.; AZAM K., M.; ABBAS, M.; JASKANI, M. J.; ALI, M. A.; ABBAS, H., 2006. Evaluation of potting media for the of rough lemon nursery stock production. *Pakistan Journal of Botanic* 38(3): 623-629.
- NETO DE C. A.; DE SIQUEIRA D., L.; PEREIRA P. R., G.; ALVAREZ V. H., V. 2002. Diagnóstico do estado nutricional de n em porta-enxertos de citros, utilizando-se de teores foliares de clorofila. *Rev. Bras. Frutic.* 24(1): 204-207.
- O'RYAN H., J.; RIFFO P., M. O. 2007. MANUAL. El compostaje y su utilización en la agricultura. Fundacion para la innovación tecnológica. Santiago, Chile. 40 p.
- ODUM, E.P. 1972. *Ecología*. 3ra edición. Edit. Interamericana. México. 639 p..
- OIRSA 2009. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. www.orisa.org
- OZORES H., M.; RIFFO, M. O.; O'RYAN J. 2003. Curso internacional de Compostaje: producción, control de calidad y uso de compost. *Pharos* 10(2):129-133.
- PASTOR S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *TERRA Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- PIRE, R.; PEREIRA, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado lara, Venezuela. *Propuesta Metodológica. Bioagro* 15(1): 55-64.
- PRADO R., DE M.; DO VALE D., W. 2008. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura spad em porta-enxerto de limoeiro cravo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 38(4): 227-232.
- PRADO R., DE M.; ROZANE, D. E.; CAMAROTTI G., S.; CORREIA M. A., R.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C.; BEUTLER, A. N. 2008. Nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição e na produção de mudas de laranjeira 'valência', enxertada sobre citrumeleiro 'swingle'. *Rev. Bras. Frutic.* 30(3): 812-817.
- REESE, R. L; KOO, R. G. J. 1975. Effects of N and K fertilization on internal fruit quality of three major Flórida oranges cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100(02):425-428.

- REZENDE C. F., A.; FERNANDES, E. P.; DA SILVA M., F.; LEANDRO W., M. 2010. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. *Biosci. J.* 26(3):367-375.
- RIVIERE, L.; CARON, J. 2001. Research in substrates: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Horticulturae*, 548: 29-37.
- ROBLES G., P. L.; SÁNCHEZ A., H. M.; LOEZA K., E. 2008. Programa nacional de certificación de material propagativo de cítricos en México. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). México, D.F. México.
- ROZANE, D. E.; PRADO R., DE M.; NATALE, W.; BEUTLER A., N.; DA SILVA S., R.; BARBOSA, J. C. 2009. Efeito das doses de nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição e na produção do porta-enxerto de limoeiro cravo. *Acta Scientiarum Agronomy* 31(2): 255-260.
- RUÍZ R., O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia* 31(2): 140-145.
- SCHÄFER, G.; DE SOUZA P. V., D.; DAUDT R. H., S.; DORNELLES A. L., C. 2005. Substratos na emergência de plantulas e expressao da poliembrionia em porta-enxetos de citros. *Ciencia Rural*. 35(2): 471-474.
- SCHÄFER, G.; DE SOUZA P. V., D.; KOLLER, O. C.; SCHWARZ, S. F. 2006. Desarrollo vegetativo de patrones cítricos cultivados en condiciones de invernadero bajo dos sistemas de riego. *Rev. Bras. Frutic.* 28(2): 227-230.
- SCIVITTARO W., B.; DE OLIVEIRA R., P.; MORALES C. F., G.; RADAMANN, E. B. 2004. Adubacao nitrogenada na foracao de porta-enxertos de limoeiro cravo em tubetes. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 131-135.
- SENA, J. O. A., LABATE, C. A., CARDOSO, E. J. B. N., 2004. Caracterização fisiológica da redução de crescimento de mudas de citros micorrizadas em altas doses de fósforo. *R. Bras. Ci. Solo.* 28:827-832.
- SENASICA 2009. Servicio Nacional De Sanidad Agroalimentaria. www.senasica.gob.mx
- SMITH, G. S.; JOHNSTON, C. M.; CORNFORTH, I. S. 1983. Comparison of Nutrient Solutions for Growth of Plants in Soil and Culture. *New Phytologist*. 94(4): 537-548.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing Nutrient Solution of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154.
- VALE D., W. DO; PRADO R., DE M. 2009. Adubação com N, P e K no crescimento inicial do porta-enxerto limoeiro cravo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4(1): 35-41.
- VARGAS, T. P.; CASTELLANOS, R. J. Z.; SÁNCHEZ, G. P.; TIJERINA, C. L.; LÓPEZ, R. R. MA.; OJO DE AGUA, A. J. L., 2008 Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4):375-381.

- ZAMORA M., B. P.; SÁNCHEZ G., P.; VOLKE H., V. H. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia* 30(6):69-81.
- ZANETTI, M.; CAZETTA, J. O.; MATTOS JR. D.; DE CARVALHO S., A. 2003b. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do portaenxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. *Rev. Bras. Frutic.* 25(3): 508-512.
- ZANETTI, M.; FERNANDES, C.; CAZETTA, J. O.; CORÁ, J. E.; MATTOS JR, D. 2003a. Características físicas de sustratos para a produção de mudas cítricas sob telado. *Solos e Nutrição* 24(2): 519-530.

CAPÍTULO I. SITUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS EN MÉXICO: IDENTIFICACIÓN DE FACTORES MODIFICABLES

RESUMEN

El desarrollo sustentable de la citricultura mexicana depende del establecimiento de huertas con plantas provenientes de material genético de calidad, las cuales deben producirse bajo normas fitosanitarias que mitiguen el riesgo de diseminación de enfermedades de importancia económica. Bajo esta consideración se estableció la norma oficial mexicana NOM-079-FITO-2002. Las investigaciones enfocadas a este proceso son escasas y de poca divulgación; por lo que se identificaron los factores con potencial de mejoramiento en los sistemas producción de plantas cítricas. Para ello se consultaron los directorios del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y se entrevistó a investigadores nacionales (7) e internacionales (9), viveristas (9) y productores de cítricos (14) para conocer aspectos relacionadas con la unidad y ciclo de producción, material de soporte para las plantas, fertilización, normatividad, problemática general y uso de plantas certificadas en campo. En México existen 58 viveros cítricos certificados, 20 lotes de yemas, 15 huertas productoras de semillas, 3 lotes de fundación y un banco de germoplasma. El 22% de los viveristas utiliza el sistema tradicional y el 78 % bajo cubierta, la naranja Valencia y limón Persa injertados en *C. volkameriana* tienen mayor demanda y el 67 % fertiliza vía foliar. Los materiales de soporte más utilizados son suelo agrícola y suelos agrícola+sustrato y el ciclo de producción de plantas se reduce dos meses con el uso de sustratos. El 50 % de los investigadores indicaron como problemática principal la escases de estudios sobre sustratos y fertilización, sugiriendo el uso de cascarilla de arroz, pulpa de café y cítricos, fibra de coco y peat moss. El 93 % de los productores considera importante conocer el proceso de producción de plantas para asegurar la supervivencia de éstas en campo. En México se producen plantas cítricas certificadas; sin embargo, al existir un solo banco de germoplasma, es necesaria la creación de otros con diversificación de variedades.

Palabras claves: producción de plantas, investigación, sustratos, fertilización.

STATUS OF THE PLANT CITRUS SYSTEM PRODUCTION IN MEXICO: IDENTIFICATION OF MODIFICABLE FACTORS

ABSTRACT

The development of Mexican citriculture depends on the establishment of orchards with plants obtained from good quality genetic material that must be produced under sanitary regulations to avoid dissemination of diseases of economical importance. Under this consideration, the Mexican official standard, NOM-079-FITO-2002, was created. Research related to this new standard is limited and not well known; so that factors to improve the plant citrus system production were identified. For this, information from the Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) was obtained and mexican (7) and international (9) researchers, nurserymen (9), and citrus growers (14) were interviewed to get information about unit used for plant production and plant production cycle, growing medium for plants, fertilization, plant production regulations, general issues, and the use of certified plants in the field. It was found that in Mexico there are 58 certified citrus nurseries, 20 increase blocks for budwood production, 15 orchards for seed production, 3 foundation blocks, and one bank of germoplasm. From all nurserymen, 22 % uses the traditional system for producing and 78 % uses protected screenhouse, Valencia orange and Persa lime grafted on *C. volkameriana* are highly required, and 67 % fertilizes foliarly. Agricultural soil, and the mixture agricultural soli + substrate are the most common media for plants and the production cycle of citrus plants is reduced for two months when using substrates. Limited studies related to substrates and fertilization was the main problem expressed by 50 % of the researchers and suggested to use composted rice hulls, coffee and citrus pulps, coconut fiber and peat moss as substrates. Ninety three percent of citrus growers indicated that knowing the processes of citrus plants production, ensure the survivability of plants in the field. In Mexico certified citrus plants are produced; however, because of the existence of only one bank of germoplasm, the establishment of new banks of germoplasm having assorted varieties, is imperative.

Key words: plant production, research, substrates, fertilization.

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable de la citricultura depende del uso de material genético superior y plantas de alta calidad sanitaria, en ambiente protegido, aislado de vectores de enfermedades de importancia económica que han impactado la economía de otros países. Aun cuando la producción de plantas se realice en ambiente protegido, los viveros son lugares propicios para la diseminación de enfermedades parasíticas, disturbios genéticos, e insectos, debido a la condición de monocultivo generado y la alta densidad de plantas, con hojas y raíces entrelazadas (González, 2008).

Considerando la importancia de lo anterior, y con el propósito de promover el uso de plantas de calidad en el Programa Nacional de Reconversión Productiva de la Cadena Citrícola, el 22 de mayo de 2002, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-079-FITO-2002 donde se indican los requisitos fitosanitarios para la producción y movilización de material propagativo libre de VTC y otros patógenos asociados a cítricos, como fundamento legal del Programa de Certificación. Esta norma incluye un apéndice técnico operativo que describe el proceso para la producción de material propagativo de cítricos. Este proceso establece la obtención de material vegetativo higienizado mediante técnicas de microinjerto o indexación. Las plantas obtenidas de estas técnicas se establecen en Bancos de Germoplasma (BG) y Lotes de Fundación (LF); a su vez, las yemas obtenidas de las plantas de estas dos unidades se usan para establecer Huertas Productoras de Semilla (HPS) y Lotes Productores de Yemas (LPY); las semillas y yemas obtenidas de estas unidades se utilizan para la obtención de las plantas en Viveros Productores de Plantas Cítricas (VPPC). Estas cinco unidades engloban el proceso de producción de plantas cítricas certificadas.

Además de la norma anterior, en 2009 se publicó la NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-047-FITO-2009, donde se establecen las acciones fitosanitarias para mitigar el riesgo de introducción y dispersión del Huanglongbing (HLB) de los cítricos (*Candidatus Liberibacter* spp.) en el territorio nacional. Esta enfermedad ha causado pérdidas de superficie de producción en estados como Colima, Guadalajara, Yucatán, entre otros. Además, de acuerdo a la evaluación del impacto económico de la

enfermedad en la cadena citrícola mexicana realizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IINCA) en 2009, en una proyección de 5 años después del establecimiento de la enfermedad, las pérdidas económicas por daños directos, indirectos e inducidos sería mayor o igual a 4343 millones de pesos en el sector primario. Por lo que, en 2010 ante la aparición del HLB se establece el acuerdo por el cual se dan conocer las medidas fitosanitarias que deberán aplicarse para el control del HLB. En este último se hace obligatorio que los VPPC deban contar con instalaciones protegidas con plástico o malla desde el establecimiento del semillero hasta la obtención de la planta con variedad y altura para su trasplante en campo.

En México, la producción de plantas cítricas certificadas se realiza desde hace 10 años; sin embargo, los resultados de investigaciones enfocadas a este proceso generalmente no se incluyen en medios científicos de divulgación, ya que dichos resultados son generados por empresas privadas que no tienen interés en su difusión. El origen de este desinterés puede deberse a la falta de aplicación del método científico en la realización de las investigaciones, el resguardo celoso de la información generada o desconocimiento de medios de divulgación. Para la identificación de los factores limitantes y necesidades de investigación es importante considerar la opinión de los involucrados en cada uno de los eslabones de la cadena de cítricos, con especial inferencia en el proceso de producción de plantas cítricas. Los factores identificados deben atender a las normas de certificación y a los cambios que en los últimos años se han generado, como la producción en invernadero, cortinas de aire, y otros más que su implementación no está normada y pueden ser de gran apoyo en dicha producción. Por ejemplo, el uso de sustratos y fertilización no se encuentra estipulado en la normatividad, pero su empleo eficiente puede favorecer el desarrollo de las plantas. El uso de estos en la producción de plantas en otros países han proporcionado beneficios adicionales como homogenización y mayor sanidad en raíces debido a que estos factores son fácilmente modificables dentro del invernadero (Degli, 2004; Vale *et al.*, 2009).

Actualmente, en 2012, en el estado de Veracruz existen 15 viveros certificados. Sin embargo, aún existen viveros tradicionales donde la falta de normatividad en el uso de infraestructura inadecuada y material vegetativo no sanitizado, principalmente, aumenta

la heterogeneidad de las plantas producidas. Otros factores como el uso de diferentes tipos de suelo, la temperatura y humedad relativa de cada zona de producción, las diferencias entre las estructuras de los invernaderos y los tipos de fertilización utilizada (fertilizantes de liberación lenta, granulados, foliares y fertirrigación, ya sea combinados o solos) favorecen la heterogeneidad de la producción de las plantas del sistema tradicional y certificado.

La mayoría de los viveros utiliza suelo para la producción masiva de plantas, generando problemas en el ambiente por ser éste un recurso renovable de lenta sucesión. Una alternativa para este inconveniente es el uso de sustratos de origen natural o sintético que sean amigables con el ambiente. Por ejemplo el uso de compostas de residuos orgánicos provenientes de plantaciones cercanos a la zona de producción como cítricos, plátano, café, caña, piña, así como desechos arbóreos de cualquier tipo de plantación forestal o frutícola (Pastor 1999; Pire y Pireira 2003; Hidalgo *et al.*, 2009). Otra opción utilizar es la fibra de coco, que se industrializa y usa ampliamente como sustrato. Los recursos minerales como tepezil, tezontle, agrolita, perlita, entre otros (Pastor 1999), estos materiales generalmente se producen en regiones áridas sin valor comercial donde su extracción regulada previene problemas ambientales. Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue conocer la problemática existente en los distintos sistemas de producción de plantas cítricas certificadas en México, para identificar los factores con potencial de mejoramiento en los sistemas producción de plantas cítricas.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Consulta de directorios nacionales

Esta investigación se realizó en dos etapas durante el periodo septiembre 2011-enero 2012. En la primera etapa se consultaron los directorios publicados en el sitio oficial del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) para conocer el número y tipo de unidades de material propagativo de cítricos involucradas en el proceso producción de plantas cítricas certificadas.

1.2.2. Encuesta sobre la producción de plantas cítricas

La segunda etapa consistió en la aplicación de encuestas durante el 3er. Encuentro Internacional de Investigación en Cítricos 2011 y la 5a Semana Internacional de la Citricultura 2011, realizados en Martínez de la Torre, Veracruz, México. Se entrevistaron 39 personas, divididas en cuatro tipos de informantes de la cadena de producción de cítricos que fueron investigadores nacionales (7), investigadores internacionales (9), viveristas (9), y productores (14). Los cuestionarios empleados para cada uno de ellos corresponden a los Anexos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Dichos cuestionarios incluyeron preguntas de respuestas abiertas y de opción múltiple, ya que se pretendía evitar el sesgo de la información. Las preguntas se enfocaron en conocer sus opiniones y experiencias sobre la producción de plantas cítricas, así como el uso de sustratos y fertilización, sugerencias en el uso de sustratos, ciclos de producción y principales problemas en la producción y uso de éstas. Las respuestas similares obtenidas en cada pregunta abierta, se agruparon a fin de determinar el porcentaje de personas con la misma idea o problemática.

1.3. RESULTADOS

1.3.1. Unidades de producción de plantas cítricas.

Con base en la consulta en el SENASICA, de los 23 estados productores de cítricos en México, 13 de ellos cuentan con unidades de producción de material propagativo de cítricos certificados (BG, LF, HPS, LPY y VPP), para el abastecimiento de siembras y resiembras de áreas citrícolas (Cuadro 1.1).

Como se indica en el Cuadro 1.1, Colima, Veracruz y Oaxaca, son los estados con mayor número de unidades de VPPC. Sin embargo, Veracruz es el estado con mayor producción de plantas cítricas certificadas cuya producción representa el 59 % del total nacional (Cuadro 1.2).

CUADRO 1.1. Producción nacional de material propagativo de cítricos en las diferentes unidades de producción existentes en México.

Estado	VPPC	LPY	HPS	LF	BG
Colima	20	3	3		
Michoacán	4	1	1		
Oaxaca	6	3	2		
Veracruz	15	6	4	1	1
Puebla	1				
Jalisco	2	1	1		
Sonora	1	1	1	1	
Yucatán	3				
Chiapas	1	1			
Tabasco	1	1	1		
Sinaloa	2	1	1		
Tamaulipas	1	1	1	1	
San Luis Potosí	1	1			
Total^z	58	20	15	3	1
Total Superficie m^{2y}	426 936	1 239 265	216 220	1 200	480
Total Producción^y	7 555 896 plantas	7 306 120 yemas	310 146 kg	7 920 yemas	9 360 yemas

^z Fuente (SENASICA 2012).

^y Fuente (SENASICA 2011).

VPPC: Viveros Productores de Plantas Cítricas, LPY: Lotes Productores de Yemas, HPS: Huertas Productoras de Semilla, LF: Lotes de Fundación, BG: Bancos de Germoplasma.

CUADRO 1.2. Producción anual de plantas cítricas en viveros certificados en México.

Estado	No. VPPC ^z	Superficie m ^{2y}	Producción de plantas ^y
Colima	20	49 824	1 316 000
Veracruz	15	228 050	4 504 162
Oaxaca	6	51 500	520 000
Jalisco	2	11 742	50 000
Michoacán	4	3 000	150 000
Puebla	1	15 000	60 000
San Luis P	1	20 000	200 000
Tamaulipas	1	1 200	500 000
Sonora	1	20 620	120 000
Yucatán	3	20 000	65 000
Chiapas	1	5 000	100 000
Sinaloa	2		
Total	58	431 936	7 655 896

^z Fuente (SENASICA 2012).

^y Fuente (SENASICA 2011).

1.3.2. Generalidades de las entrevistas

En el Cuadro 1.3 se detallan las características y datos de descripción de los cuatro tipos de informantes, así como en algunos casos, su relación en la cadena de producción de cítricos.

CUADRO 1.3. Características y datos de identificación de los entrevistados.

Tipo de informante	No.	Procedencia	Tipo de investigación, actividad realizada en viveros o Superficie cultivada.	
Investigadores nacionales	1	Yucatán	INIFAP	Aplicada .
	2	Nvo. León	INIFAP	Manejo de plagas.
	3	Morelos	INIFAP	Básica y aplicada.
	4	Yucatán	CIATEJ	Básica y aplicada.
	5	Colima	INIFAP	Mejoramiento genético de limón mexicano.
	6	Veracruz	INIFAP	Banco de germoplasma de cítricos, producción de yemas lote multiplicador.
	7	Edo. México	COLPOS	Básica aplicada de vectores de Fitopatógenos.
	8	Colima	INIFAP	Manejo de cultivo de limón mexicano, HLB.
	9	Sonora	INIFAP	Post-cosecha de cítricos.
Investigadores internacionales	1	USA	Universidad Florida	Detección rápida de enfermedades.
	2	España	Iniciativa Privada	Asesoría técnica a empresas privadas.
	3	Brasil	Centro De Citricultura Silvio Moreira	Fitotecnia enfocada al control de malezas y enfermedades.
	4	Brasil	Consultaría Agrícola Privada	Asistencia técnica, investigaciones generales.
	5	Argentina	Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria	Diagnóstico molecular de HLB en psilidos, obtención de plantas libres de enfermedades.
	6	USA	USDA/ARS, USHRL	Mejoramiento genético y reproducción de cítricos.
	7	España	PROVEFE	Podas, nutrición y material vegetal.

CUADRO 1.3. Continuación...

Tipo de informante	No.	Procedencia		Tipo de investigación, actividad realizada en viveros o Superficie cultivada.
Viveristas	1	Sinaloa	Culiacán	Director del departamento de investigación.
	2	Tamaulipas	Cd. Victoria	Presidente del vivero.
	3	Veracruz	Nautla	Gerente general.
	4	Veracruz	Mtz. de la Torre	Propietario (viverista tradicional).
	5	Veracruz	Mtz. de la Torre	Gerente general.
	6	Veracruz	Coatzintla	Gerente técnico.
	7	B. California sur	Transpeninsular Km. 14	Responsable legal (viverista tradicional).
	8	Chiapas	Suchiapa	Asesor técnico.
	9	Puebla	Hueytamalco	Jefe de producción.
Productor de cítricos	1	Veracruz	Ixhuatlán	1.5 ha
	2	Veracruz	Mtz. de la Torre, Tlapacoyan	150 ha
	3	Veracruz	Gutiérrez Zamora	55.5 ha
	4	Veracruz	Mtz. de la Torre	14.5 ha
	5	Veracruz	Coatepec	10 ha
	6	Veracruz	Tlapacoyan	8 ha
	7	Veracruz	Álamo Temapache	10 ha
	8	Veracruz	Coatepec	6 ha
	9	Veracruz	Mtz. de la Torre.	20ha
	10	Campeche	Tikinmal	2 ha
	11	Tamaulipas	Padilla	16 ha
	12	Puebla	Hueytamalco	1 ha
	13	Tabasco	Huimanguillo	8 ha
	14	Chiapas	Marqués De Cornillas	500 ha

INIFAP=Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

COLPOS=Colegio de Postgraduados.

USDA/ARS=United States Department of Agriculture/ Agricultural Research Service.

PROVEFE=Protección de los Vegetales Ferradis: Asesoramiento agronómico internacional y comercialización de fitosanitarios.

La información general obtenida muestra el panorama general de la relación existente de los informantes en la cadena citrícola. Los investigadores nacionales entrevistados en su mayoría laboran para el INIFAP. Los investigadores internacionales laboran en universidades, iniciativa privada, departamentos de agricultura, entre otros.

Los viveristas entrevistados desempeñan funciones diversas en los viveros que representan (Cuadro 1.3). El 22 % de ellos realiza viverismo tradicional mientras que el resto (78 %) realiza el certificado y bajo cubierta. Del total de entrevistados, el 45 % pertenece al estado de Veracruz.

El 64 % de los productores entrevistados pertenece a diferentes municipios del estado de Veracruz, aunque se tuvo la participación de productores provenientes de otros estados como Tabasco, Campeche, Chiapas, Tamaulipas y Puebla. Los entrevistados difirieron notablemente en las superficies que cultivan y en las variedades y portainjertos cultivados. El portainjerto con mayor mención de cultivo fue *C. volkameriana*, aunque de acuerdo a sus experiencias expresaron preferir citrumelo Swingle.

1.3.3. Información obtenida de Investigadores nacionales e internacionales

Las principales respuestas de los investigadores nacionales e internacionales entrevistados se presentan en el Cuadro 1.4.

CUADRO 1.4. Respuesta de los investigadores nacionales e internacionales sobre la producción y uso de plantas cítricas certificadas.

No.	Menciones (%)	Respuestas
15	93	Conoce la normatividad para producir plantas cítricas certificadas.
16	100	Conoce las ventajas de utilizar sustratos en la producción de plantas cítricas.
8	50	Afirma que la falta de uso de sustratos se debe a la combinación de altos costos de los materiales y falta de conocimientos sobre el tema.
11	68	Realizaron sugerencias de sustratos para su uso en la producción de plantas cítricas.
15	93	Consideran importante la fertirrigación en la producción.
6*	67	Mencionaron la fertirrigación como el factor más importante para reducir el ciclo de cultivo.
8	50	Asegura que la principal problemática en la producción de plantas cítricas es falta de investigación en los factores de producción de uso de sustratos y fertilización.

*Solo investigadores nacionales.

Recientemente en México, las normas fitosanitarias de producción de plantas cítricas, establecieron la implementación de cubierta de malla antiáfidos en las estructuras de producción en las zonas detectadas con HLB, situación similar ocurrió en Argentina. En ambos países la normatividad no exige el uso de sustratos en la

producción; de acuerdo a los informantes de Argentina, la razón probable por la que no se utilizan pudiera ser el costo de adopción de la tecnología y falta de conocimientos sobre el tema. Al respecto, el 100% de los entrevistados nacionales mencionaron que la falta de conocimientos limita el uso de los sustratos en esta producción; de ellos el 66 % también mencionó como limitante los altos costos de estos materiales. Los entrevistados de Brasil, España y USA, indicaron que el uso de sustratos es parte de la normatividad en su país.

El 68 % de los investigadores realizaron sugerencias de sustratos con base a experiencias con otros cultivos; solo uno de los investigadores nacionales mencionó tener experiencia en el uso de sustratos en esta producción. Las sugerencias de sustratos y ventajas de cada uno se presentan en el Cuadro 1.5.

CUADRO 1.5. Sugerencias de los investigadores nacionales e internacionales sobre el uso de sustratos.

Menciones No.	(%)	Sustrato	Características y propiedades
5	31	Subproductos de la región: ejemplos, cascarilla de arroz, pulpa de café, pulpa de cítricos, lombricompostas.	Aprovechar materiales regionales, disponibilidad, independencia tecnológica, reducción de costos y evita contaminación.
5	31	Fibra de coco	Buena aireación, retención de humedad, sin maleza.
4	25	Peat moss	Heterogéneo, Material estéril, fácil manejo, buena aireación y retención de humedad

La reducción del ciclo de cultivo es uno de los objetivos principales en la mayoría de las investigaciones en la producción de plantas cítricas. En referencia, el 67 % de los entrevistados nacionales aseguran que el manejo de la nutrición y el riego son el tema principal debe estudiarse para la reducción del ciclo; el 50 % de ellos menciona también el manejo de factores ambientales como temperatura, fotoperiodo e intensidad luminosa con sombreo para ello; el 37 % menciona que son importantes la selección de variedades, mejoramiento genético y empleo de cultivo de tejidos.

Todos los entrevistados consideran importante el uso de la fertirrigación en la producción de plantas cítricas y asegura que la principal problemática en la producción de plantas cítricas es falta de investigación en los factores de producción de uso de sustratos y fertilización.

1.3.4. Información proporcionada por viveristas productores de plantas cítricas

En el Cuadro 1.6 se indica la información obtenida de los viveristas entrevistados, sobre el proceso de producción y uso de plantas cítricas certificadas.

CUADRO 1.6. Respuestas de los viveristas al proceso de producción y uso de plantas cítricas certificadas.

Encuestados		Respuestas
No.	(%)	
7	78	Practican viverismo certificado y bajo cubierta.
8	89	Mencionaron que <i>C. volkameriana</i> es el porinjerto de mayor demanda.
7	88	Mencionaron a naranja Valencia y limón Persa como principales variedades solicitadas.
5	55	Utiliza suelo agrícola en mezcla con sustratos para la producción.
5	55	Realizan germinación en almácigos, con una duración promedio de 3 meses.
4	44	Utilizan riego por aspersion manual.
6	67	Realizan fertilización vía foliar en sus procesos de producción.
9	100	Consideran que la falta de información de los citricultores sobre el uso y manejo en la siembra, resiembra y mantenimiento de las plantas de cítricos es el principal problema de su producción y comercialización.

Los informantes indicaron que los portainjertos con mayor demanda son principalmente limón Volkameriano (*Citrus volkameriana*) (Cuadro 1.6) siguiendo en orden de importancia Citrange Carrizo (*Poncirus trifoliata x Citrus sinensis*), citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata x Citrus paradisi*) y C-35 (*Citrus sinensis 'ruby blood' x Poncirus trifoliata*). El 88 % de los informantes mencionó que las variedades de mayor demanda son naranja Valencia y limón Persa.

Los materiales usados como soporte en el contenedor se englobaron en cinco grupos: al piso, tierra agrícola, sustrato, mezcla de sustratos y mezcla de tierra agrícola y sustrato. El 55 % de los informantes utilizan al menos una mezcla de tierra agrícola con otros sustratos. Dichas mezclas son: materia orgánica-limo-cachasa, arena-suelo agrícola-composta y suelo agrícola-tepezil. La duración del ciclo de cultivo de las plantas cítricas desde semilla hasta convertirse en plantas con características deseables para establecerse en campo varía de acuerdo al material utilizado como soporte de la planta Figura 1.2. Aquellos viveristas que usan sustratos (fibra de coco y mezcla de peat moss y composta) reducen el tiempo de producción de plantas.

Aun cuando el 44 % de los viveristas que no utilizan sustratos, mencionaron conocer las ventajas de su uso, como la reducción del tiempo observada en la Figura 1.1; también el 44 % considera los altos costos de estos como la razón limitante de uso. Sin embargo, el 22 % que asegura no tener necesidad de utilizarlos debido a la óptima calidad de los suelos que utilizan, pero expresaron desconocer las ventajas de su uso. Por lo que el 56 % considera la principal limitante para el uso de sustratos es la falta de conocimientos sobre su uso

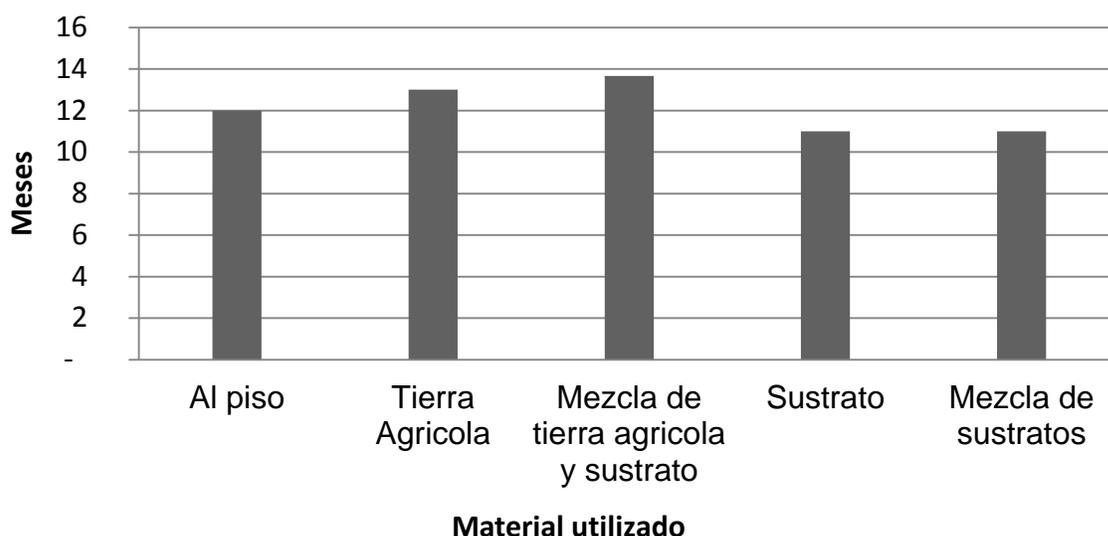


FIGURA 1.1. Ciclo de crecimiento de plantas cítricas cultivadas en diferentes materiales utilizados como soporte.

La aplicación de nutrientes a la planta en vivero puede realizarse de diferentes formas. En la Figura 1.2 se observan las distintas formas de aplicación utilizados por los viveristas encuestados, destacando la vía foliar con el 67 %. En contraste, solo el 11 % utiliza fertirrigación.

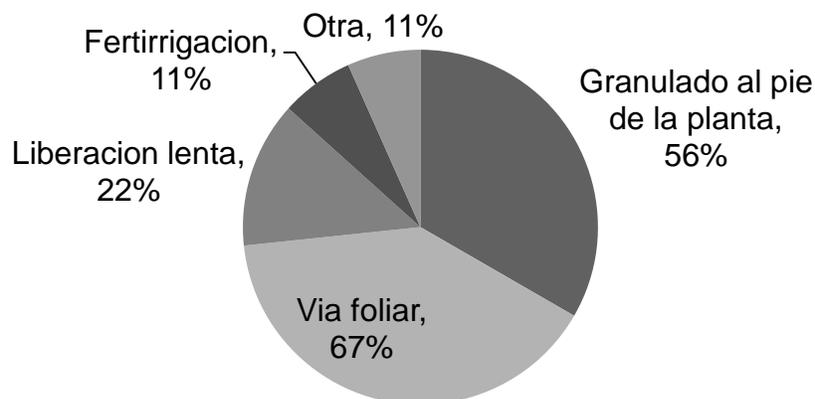


FIGURA 1.2. Formas de fertilización empleadas por los viveristas entrevistados.

1.3.5. Información vertida por productores de cítricos

La información obtenida de los productores de cítricos en relación al proceso de producción de plantas cítricas y opiniones sobre el uso de ellas, se presenta en el Cuadro 1.7.

CUADRO 1.7. Respuestas de los productores de cítricos en relación al proceso y uso de plantas cítricas certificadas.

Encuestados		Respuestas
No.	(%)	
6	43	Prefiere Swingle como portainjerto.
10	71	Desea que las plantas adquiridas estén libres de plagas y enfermedades.
13	93	Considera importante conocer el proceso de producción para asegurar que las plantas sobrevivirán al trasplante si se aplican los cuidados pertinentes.
13	93	Conoce las ventajas de comprar plantas producidas en medios protegidos.
9	64	Conocen la diferencia entre sustratos y suelo.
14	100	Considera importante conocer el material de soporte en el que se produce la planta comprada.
6	43	Opina que conocer el material en el que se producen las plantas adquiridas, les da la seguridad de llevar plantas sanas a sus plantaciones y dar seguimiento de nutrición para el desarrollo de ellas para obtener producciones altas.
7	50	No conoce el manejo que debe tener las plantas producidas en sustratos al momento de la siembra.
3	21	Describieron eficientemente los cuidados que deben tenerse en el proceso de siembra de plantas producidas en sustratos.

La mayoría de los productores de cítricos entrevistados expresaron conocer las ventajas de adquirir plantas producidas en medio protegido y consideran importante enterarse cuál es el material o sustrato donde se desarrollan las plantas que adquieren. El 43 % de los entrevistados aseguran que conocer el material en el que se propagan las plantas, les da la seguridad de llevar plantas sanas sin problemas de raíz a sus plantaciones y dar seguimiento de nutrición para el desarrollo de ellas para obtener productividad alta.

Es fundamental destacar que el 64 % (9) de los productores afirma conocer la diferencia entre sustratos y tierra agrícola o suelo; de los cuales 4 productores indicaron conocer el manejo que deben tener las plantas producidas en sustratos al momento de sembrarse. Sin embargo, solo el 21 % (3) describe acertadamente este proceso, que consiste principalmente en mantener el cepellón de la planta sin desintegrarse, apisonar cuidadosamente y conservar humedad durante el periodo de adaptación de la planta.

1.4. DISCUSIÓN

La producción de plantas cítricas certificadas en México, se ha desarrollado desde hace 10 años a la fecha bajo diversas medidas e innovaciones a la norma 079-NOM-FITO-2002, que ha modificado el sistema de producción, en cuanto al origen de los materiales vegetales, las estructuras, medidas fitosanitarias y unidades de producción; dependiendo de las plagas y enfermedades que han surgido.

Al inicio de la instalación y establecimiento del sistema de producción, los materiales como semilla y yemas se importaban de países como Brasil, EUA, España y Cuba. Aunque el viverismo cítrico Mexicano actualmente es autosuficiente para la mayoría de las variedades con uso comercial. En México solo existe un banco de BG y dos LF. Las variedades requeridas que no se encuentran disponibles en ellos se importan de otros países que cumplan con las especificaciones de las norma fitosanitaria. El precio de estos materiales vegetativos obtenidos de los BG y LF, es alto debido a los costos que se generan durante el proceso de desinfección, aunado a los costos de importación cuando así es necesario; por esta razón este tipo de material solamente se utiliza para el establecimiento de HPS y LPY.

Actualmente, existe un total de 58 viveros productores de plantas cítricas certificadas en el país. En Veracruz del 2002 a la fecha, el número de viveros se ha triplicado, de 5 a 15, los cuales producen el 69 % de total nacional de la producción de plantas por año; esto debido a la gran superficie destinada a esta actividad que satisface a la demanda de siembra y resiembra de las áreas citrícolas inter e intra estatal. En contraste, Colima es el estado con mayor número de viveros; sin embargo, la producción es menor debido a la superficie reducida que se destina a estas unidades (SENASICA 2011).

El crecimiento de esta actividad y el inminente riesgo de contaminación y dispersión de plagas y enfermedades presentes en el territorio nacional, han generado los cambios con base en las investigaciones de otros países donde estos problemas se originaron antes que en México. Es de suma importancia el generar y decidir temas de investigación que satisfagan necesidades presentes y futuras en esta actividad; para ello debe considerarse la opinión de los componentes de la cadena citrícola.

De acuerdo a lo anterior y los resultados de la encuesta, los investigadores nacionales e internacionales constituyen una fuente de opiniones importantes al conocer diversos factores que se estudian en cítricos y otros cultivos, y que han contribuido a mejorar su producción. Los viveristas son los principales actores de esta actividad, y en los que recae gran parte de la responsabilidad de la seguridad fitosanitaria, que radica en el convencimiento que estos tienen del uso de los avances tecnológicos, generados para el progreso y renovación de los sistemas de producción apegados a las normas fitosanitarias vigentes. Estos avances pueden estar o no legislados para ser realizados de forma obligatoria, pero todos tienen como objetivo el mejorar la producción sin demeritar su calidad fitosanitaria. La opinión de los productores quienes son los demandantes únicos directos del producto de la actividad viverística, representa una pauta importante; con dicha opinión se puede conocer acerca de la aceptación y reconocimiento de las medidas utilizadas en el proceso de producción, que tienen como fin promover una citricultura sustentable.

Aun cuando existen normas establecidas para la producción de plantas cítricas, esto no implica excluir o no investigar otros factores que pueden incluirse y modificar

dichos sistemas. Estas investigaciones tienen en común los objetivos de favorecer el uso sustentable de recursos, minimizar costos de producción, proporcionar a las plantas condiciones ideales para el óptimo crecimiento, entre otros. Las modificaciones al proceso de forma obligatoria a nivel mundial han sido progresivas de acuerdo a la situación fitosanitaria que se ha presentado en cada país; estos cambios incluyen temas como el uso innovador de otros patrones con características enanizantes y otras modificaciones genéticas y el uso de invernaderos, sustratos y fertirrigación en el proceso de producción.

El esquema de certificación de plantas cítricas en México no considera el uso de sustratos en la producción; sin embargo, en países como Estados Unidos, la producción en sustratos se ha realizado desde finales de los años 60' en la región de Florida (Boaventura *et al.*, 2004) y en Brasil desde 1994 (Zanneti *et al.*, 2003). Las investigaciones realizadas sobre este factor y la publicación oportuna de los resultados han generado conocimientos necesarios para estandarizar los procesos e incrementar eficientemente la producción y satisfacer la demanda de plantas cítricas libres de enfermedades en estos países.

La turba o peat moss se utiliza comúnmente en esta actividad en otros países, debido a las ventajas que este material proporciona; sin embargo, en México, el precio de este producto es elevado debido al costo de importación y traslado. Por ello los viveristas limitan su uso ya que incrementa su inversión y por consiguiente el precio unitario de la planta; limitando el poder de adquisición de los de los productores citrícolas. Por ello, es importante que se empleen aquellos sustratos que se encuentren disponibles en la zona donde se utilizarán, para disminuir los costos de producción y que el aprovechamiento de este genere un uso sustentable (Hu y Barker, 2004; Mugnai *et al.*, 2007).

Como una alternativa a esto, los investigadores sugieren el uso de sustratos de origen orgánico como las compostas a base de subproductos de la región como cascarilla de arroz, pulpa de café, pulpa de cítricos, y lombricompostas de diversos orígenes entre otros. La composta derivada de subproductos agrícolas y agroindustriales

en combinación con otros materiales, pueden presentar propiedades similares al peat moss (Ortega *et al*, 1999; Moore, 2004). Todo ello previo a investigaciones y análisis sobre la disposición de materiales en cada zona e identificación del potencial de uso en la producción de plantas cítricas. Por ejemplo: en la zona de Martínez de la Torre se elabora composta de pulpa de cítricos, la cual no posee una composición química que enriquezca la nutrición de las plantas, pero proporciona buena estructura en el sustrato y su costo es menor a los comerciales, de esta forma debe buscarse los desechos de cultivos aprovechables para cada zona de producción. Así también pueden identificarse zonas de bancos de materiales inorgánicos aptos para su uso como sustratos, por ejemplo para la zona centro del estado de Veracruz en la zona del altiplano de Perote, se localizan algunos de estos bancos mencionados.

Paralelo al uso de sustratos, existen otros factores como el control de la nutrición y la disponibilidad del agua, que permiten sistematizar y uniformizar el proceso de producción (Esposti y Siqueira, 2004). Los investigadores aseguran que la falta de investigación en estos temas, es una de las principales problemáticas en la producción de plantas. Los informantes consideraron la fertirrigación como la principal opción para la reducción del ciclo de cultivo. Vale *et al.* (2009) mencionan que con el uso de factores innovadores como la fertirrigación en la producción de plantas cítricas en invernadero puede reducir el ciclo del cultivo. Además de otros estudios como el uso de rizobacterias en la aceleración del crecimiento de las plantas (Frietas y Vildoso, 2004) y la evaluación de la adaptación de patrones tolerantes a variedades criollas (Russian y Oropeza, 2008).

Respecto a los viveristas de México, no utilizan un material estándar como soporte en la producción de plantas cítricas. Los materiales que se utilizan se engloban de la siguiente manera; tierra agrícola, sustrato, mezcla (sustratos) y mezcla (tierra agrícola y sustrato). El hecho de que solo dos de los viveristas entrevistados, expresaron utilizar sustratos exclusivamente en su producción, tal es el caso de Cuba (fibra de coco) y Brasil (peat moss y composta), implica un factor potencial a considerar en la citricultura.

Aun cuando la mayoría de los viveristas afirman conocer las ventajas del uso de sustratos, aseguran que los altos costos de estos es la razón principal por la que no los utilizan. De esto puede deducirse que la falta de conocimientos en general sobre los sustratos tanto de su origen y variedad, así como su manejo y propiedades, son las razones reales por las que se limitan su uso; ya que si conocieran los sustratos que pueden generarse en su zona de producción, podrían hacer a un lado el paradigma de los altos costos de los sustratos. Existen investigaciones en cultivos forestales donde el uso de aserrín y arenas en combinación con otros sustratos o suelo agrícola, proporciona mezclas con menor costo y mayor sustentabilidad (Maldonado *et al.*, 2011).

Al pensar en el uso de sustratos es imposible dejar de lado la nutrición, que se vuelve un factor fundamental para el desarrollo adecuado de las plantas, con esta combinación los viveristas pueden acelerar el proceso de producción (Zanetti *et al.*, 2003b), traducándose en ahorros económicos directo para ellos así como para los productores de cítricos quienes son los principales demandantes. Al respecto Arteaga *et al.* (2003), al evaluar en árboles forestales (*Pinus durangensis* Martínez) una combinación en diferentes proporciones de arena, tierra de bosque y tierra agrícola con hojas de encino trituradas donde además se adiciono fertilizante de lenta liberación, encontraron que aun cuando aquellas plantas producidas en tierra poseían valores superiores en las variables en comparación con aquellas producidas en arena la diferencia no era significativa por lo que puede utilizarse este recurso sustituyendo la tierra de bosque evitando erosiones en este ecosistema.

El empleo de sustratos implica poner especial atención en la nutrición para el buen desarrollo de las plantas. Esta puede realizarse de diversas maneras dependiendo el material utilizado como soporte de las plantas (López *et al.*, 2005). Aunque la mayoría de los viveristas entrevistados utilizan como principales formas de fertilización la vía foliar y granulado al pie de la planta, aquellos que mencionaron el uso de sustratos aplican fertirrigación en su producción, lo que les permite tener un control directo en la cantidad de fertilizante que se aplica. Zanetti *et al.* (2003), Scivittaro *et al.* (2004) y Vale *et al.* (2009), mencionan la importancia y correlación de estos dos factores en la producción de plantas cítricas.

El eslabón más importante en la cadena productiva de cítricos son los productores primarios. La demanda y establecimiento de plantas de calidad depende del conocimiento y convencimiento que ellos tengan de su uso. Para los productores encuestados, conocer el proceso de producción de la planta que adquieren es de suma importancia. La mayoría de los entrevistados asegura conocer la diferencia entre sustrato y suelo, sin embargo, solo una minoría describe eficientemente estos materiales. Las autoridades fitosanitarias no exigen al productor primario a través de una ley el uso de plantas sanas provenientes de viveros certificados, esto hace que sea libre de comprar su planta de acuerdo a sus posibilidades económicas y criterios que regularmente van acompañados de conocimientos deficientes sobre plagas y enfermedades cuarentenarias. Por lo tanto la capacitación a productores sería una actividad importante a desarrollar a fin concientizar la importancia del uso de estas plantas.

Es importante recalcar que los productores se entrevistaron en un evento informativo donde los investigadores dan a conocer los resultados de sus investigaciones y sus aplicaciones al campo, por lo tanto todos los productores entrevistados tienen el interés de informarse y asistir a este tipo de eventos. Por lo que su asistencia a estos eventos representa el interés de los integrantes de la cadena citrícola por mejorar su situación al tomar en cuenta las opciones u oportunidades de mejora generadas de las experiencias de otros países.

Existe un número incalculable de viveros tradicionales (no apegados a la norma 079-NOM-FITO-2002), que comercializan plantas que ponen en riesgo la citricultura, ya que el producto no cumple con las condiciones de calidad y se encuentran expuestas a diversos vectores de plagas y enfermedades de carácter cuarentenario. Actualmente, dichos viveros junto con los certificados satisfacen la demanda actual de plantas cítricas. Sin embargo, la normatividad vigente considera la desaparición de los viveros tradicionales por considerarlos un riesgo para la fitosanidad nacional, la desaparición de éstos generará desabasto para la siembra y resiembra de áreas citrícolas, tal como ha ocurrido en otros países. Debido a esto es importante la generación de investigaciones

que ayuden satisfacer esta demanda apegados a las normas fitosanitarias para salvaguardar la citricultura mexicana.

1.5. CONCLUSIÓN

El crecimiento del área citrícola en las diversas zonas productoras del país, han promovido el incremento en la producción de plantas cítricas certificadas, que se producen con base a la implementación normas y medidas fitosanitarias ante el inminente riesgo de contaminación y dispersión de plagas y enfermedades cuarentenarias.

Actualmente, en México se producen plantas de cítricos certificadas de la mayoría de las variedades comerciales, sin embargo solo existe un banco de germoplasma, por lo que es necesario la creación y diversificación de este tipo de unidades para seguir introduciendo y certificando nuevos materiales con el fin de promover investigación y observar su comportamiento en diferentes regiones.

Las investigaciones deben proporcionar avances tecnológicos, para el progreso y renovación de los sistemas de producción apegados a las normas fitosanitarias vigentes. Estas investigaciones deben tener como objetivos favorecer el uso sustentable de recursos, minimizar el ciclo de producción, reducir costos de producción, proporcionar a las plantas condiciones ideales para el óptimo crecimiento, aislamiento y prevención de plagas y enfermedades de cualquier tipo.

Una de las principales problemáticas en la producción de plantas cítricas es el largo ciclo de cultivo. Los resultados sugieren generar información relacionada con la nutrición y riego principalmente, manejo de temperatura, fotoperiodo, intensidad luminosa con sombreo, selección de variedades, mejoramiento genético y empleo de cultivo de tejidos a fin de tener homogeneidad en las plantas producidas.

El uso de sustratos en la producción de plantas cítricas es uno de los factores que promueve la homogeneidad de estas y evita el traslado de suelo de una zona a otra, reduciendo riesgos fitosanitarios. También el uso de aquellos generados cerca de la zona de producción promueve un ahorro y un uso sustentable de los recursos de origen

orgánico. Previo al uso de dichos sustratos deben realizarse investigaciones y pruebas para determinar su potencial y funcionalidad para el fin requerido.

Los productores primarios deben recibir capacitación sobre las medidas y cuidados que deben proporcionar durante el proceso de trasplante a las plantas producidas en sustrato.

El costo reducido de las plantas producidas en sistemas tradicionales representa una oferta atractiva para los productores primarios, quienes debido a esto limitan la compra y uso de plantas certificadas, por lo que es necesario proporcionarles capacitación a fin de concientizarlos sobre los riesgos fitosanitarios derivados del uso de plantas producidas en los sistemas tradicionales.

1.6. LITERATURA CITADA

- ARTEAGA M., B.; LEON S.; AMADOR C. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martinez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5(002): 9-16.
- BOAVENTURA, P. R. R.; QUAGGIO, J. A.; ABREU, M. F.; BATAGLIA, O. C., 2004. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. *Rev. Bras. Frutic.* 26 (2): 300-305.
- DEGLI, E. M. D.; DALMO, L. DE S., 2004. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros produzidos em recipientes. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 136-139.
- ESPOSTI, M. D. D.; DE SIQUEIRA, D. L., 2004. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros produzidos em recipientes. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 136-139.
- FREITAS, S. S.; VILDOSO, C. I. A. 2004. Rizobactérias e promoção de crescimento de plantas cítricas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28(6):987-994.
- GONZÁLEZ, Z. F. J. 2008. Producción de plantones de cítricos en cultivo sin suelo en Murcia. Servicio de sanidad vegetal, consejería de agricultura y agua. Región Murcia. *Revista de Horticultura Extra* 2008.
- HIDALGO L., P. R.; SINDONI V., M.; MÉNDEZ N., J. R., 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *Revista científica UDO Agrícola* 9 (2): 282-288.

- HU, Y.; BARKER, A. 2004. Evaluation of composts and their combinations with other materials on tomato growth. *Communications in Soil Science and Plant analysis* 35(19-20): 2789 – 2807.
- MALDONADO P., M. A. , 2010. Desarrollo de Plantulas de portainjertos cítricos, en tubetes con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. Tesis Maestría de Edafología. Colegio de Postgraduados Montecillos.
- MOORE, K. K. 2004. Using Seaweed Compost To Grow Bedding Plants. *BioCycle* 45(6): 43-44.
- MUGNAI, S., T. PASQUINI, E. AZZARELLO, C. PANDOLFI AND S. MANCUSO. 2007. Evaluation of Composted Green Waste In Ornamental Container-Grown Plants: Effects on growth and plant water relations. *Compost Science & Utilization* 15(4): 283-287.
- Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-047-FITO-2009,
- Norma Oficial Mexicana NOM-079-FITO-2002
- LÓPEZ P., L.; CADENAS N., R.; LOBIT P.; MARTINEZ C., O.; ESCALANTE L., O., 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2): 1771-174.
- ORTEGA, M.C.; MORENO, M.T.; ORDOVÁS, J.; AGUADO, M.T. 1999. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae* 66(1-2): 125-132.
- PASTOR S. J. N., 1999. Utilización de sustratos en viveros. *TERRA Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- PIRE, R., PEREIRA, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta Metodológica. Bioagro* 15(1):55-64.
- RUSSIAN, T.; OROPEZA, J. 2008. Evaluación en vivero de tres patrones para el desarrollo de la naranja 'criolla' en el sector macanillas - curimagua. *Agronomía Tropical* 58(4): 345-350.
- SCIVITTARO W. B.; DE OLIVEIRA R. P.; MORALES C. F. G.; RADAMANN, E. B. 2004. Adubacao nitrogenada na foracao de porta-enxertos de limoeiro cravo em tubetes. *Rev. Bras. Frutic.* 26(1): 131-135.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria).
- VALE W.D.; PRADO, R DE M., 2009. Adubação com N, P e K no crescimento inicial do porta-enxerto limoeiro cravo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4(1): 35-41.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J. O.; JUNIOR, M., D.; CARVALHO, S. A. 2003b. Uso de subproductos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. Rev. Bras. Frutic. 25(03): 508-512.

ZANETTI, M.; FERNANDES, C.; CAZETTA, J. O.; CORÁ, J. E.; MATTOS JR, E. D., 2003a. Características físicas de substratos para a produção de mudas cítricas sob telado. Solos e Nutrição 24(2): 519-530.

CAPÍTULO II. VALORACIÓN DE SUSTRATOS Y FERTIRRIGACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS CÍTRICAS CERTIFICADAS

RESUMEN

La producción de plantas cítricas certificadas representa un seguro para conservar la citricultura en México. Actualmente, dicha producción se realiza bajo normas sanitarias. Debido a esto, es necesario generar conocimiento sobre el manejo de técnicas y a utilizar a fin de producir plantas de calidad manteniendo o reduciendo el ciclo de producción y costos. Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar física y químicamente a los sustratos fibra de coco, tepezil y composta de cítricos y evaluar el desarrollo de plantas en función de éstos y la fertirrigación. También se comparó, la relación costo-beneficio de las plantas producidas. La caracterización indicó el uso de las mezclas: M1 (fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta de naranja 40 %) y M3 (fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta de naranja 20 %). Se evaluó el desarrollo de los portainjertos *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. y citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* Macf. x *Citrus paradisi* Raf.) en fibra de coco, M1, M3 y suelo agrícola (testigo). Ocho tratamientos se distribuyeron en un diseño de parcelas divididas, donde los sustratos correspondieron a la parcela grande y los portainjertos a la parcela chica. Las plantas se regaron con la solución nutritiva Steiner al 10 % y se midieron la altura, diámetro, área foliar y peso de biomasa seca. *C. volkameriana* presentó mayor altura (98.75 cm) que citrumelo Swingle (29.42 cm) cultivados en la M1. El diámetro mayor se registró en citrumelo Swingle crecido en suelo y en *C. volkameriana* con fibra de coco, con valores de 8.32 y 8.27 mm, respectivamente. El peso seco (26.04 g) y área foliar (969.87 cm²) fueron mayores en *C. volkameriana* en la M1. Citrumelo Swingle creció mejor en el suelo agrícola. Es importante evaluar otros sustratos para este portainjerto a fin de reducir el uso del suelo. Debido a su bajo costo, el uso de la composta podría reducir el precio final de la mezcla y ser una alternativa para la producción de *C. volkameriana*.

Palabras clave: mezclas, fibra de coco, tepezil, composta, crecimiento, costo.

SUBSTRATES AND FERTIRRIGATION ASSESMENT FOR PRODUCING CERTIFIED CITRUS PLANTS

ABSTRACT

The production of certified citrus plants, ensure the survivability of the Mexican citriculture. At present, this plant production is carry out based on sanitary regulations. Because of this, it is important to create knowledge about the management of new techniques in order to produce citrus plant of good quality, keeping o reducing their production cycle and costs. The objectives of this study were to characterize physically and chemically the substrates coconut fiber, tepezil, and composted citrus bagasse and to evaluate the effect of these substrates and fertirrigation on the citrus plant growth. Besides, the relation cost-benefit of plants produced among substrates was compared. The characterization of substrates determined the usage of the mixture M1 (coconut fiber 35 %, tepezil 25 %, composted citrus bagasse 40 %) and M3 (coconut fiber 55 %, tepezil 25 %, composted citrus bagasse 20 %). The development of *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. and Swingle citrumelo (*Poncirus trifoliata* Macf. x *Citrus paradisi* Raf.) rootstocks using coconut fiber, M1, M3, and agricultural soil (control) was evaluated. Eight treatments were distributed in a split-plot design where the main plot were the substrates and the subplot were the rootstocks. Plants were watered using a 10% Steiner nutrient solution and the height, diameter, leaf area, and dry weight were measured. The height (98.75 cm) of *C. volkameriana* was higher than that of Swingle citrumelo (29.42 cm), both grown on the M1. The biggest diameter was observed on Swingle citrumelo grown in soil and on *C. volkameriana* grown in the M1. Agricultural soil was the best for growing Swingle citrumelo. The evaluation of others substrates for this rootstock is important in order to reduce the usage of soil. Because of the low cost of the composted citrus bagasse, it could be diminish the final cost of mixtures and be a good alternative for producing *C. volkameriana*.

Key words: mixtures, coconut fiber, tepezil, compost, growth, cost.

2.1. INTRODUCCIÓN

En la siembra y resiembra de plantaciones cítricas se deben utilizar plantas de calidad con un estado nutricional adecuado; esto con el fin de obtener árboles productivos con un crecimiento homogéneo y vigoroso (Rozane *et al.*, 2007). En los últimos años, la producción de plantas cítricas se ha modificado notablemente, en función de la normatividad de producción en ambiente protegido con mallas antiáfidos, que previene la interacción con insectos vectores de enfermedades cuarentenarias (Rezende *et al.*, 2010), que han devastado la citricultura de varios países.

Este tipo de producción con alta tecnología, es el inicio de una nueva citricultura más eficiente y capaz de garantizar la continuidad, competitividad y el crecimiento de la citricultura (Boaventura *et al.*, 2004). Sin embargo, aún bajo este sistema, existen factores que limitan la producción de plantas como las altas temperaturas, el manejo de sombreado, el sistema de riego, el tipo de sustrato y la fertilización. Estos dos últimos factores, pueden ser modificados y sustituidos fácilmente tomando en cuenta la disponibilidad y costos de producción (Zanetti *et al.*, 2003a) considerando que el tipo de sustrato define el tipo de fertilización y esta última determina el crecimiento de las plantas (López *et al.*, 2005).

Los cultivos en medio protegido suelen desarrollarse en sustratos alternativos al suelo, mezclando dos o más componentes orgánicos y minerales para lograr propiedades físicas y químicas óptimas para el desarrollo de plantas (Gruszynski y Kämpf, 2004). El costo elevado de los sustratos comerciales (peat moss, fibra de coco, perlita, vermiculita, entre otros), es uno de las principales limitantes para su uso en la actividad viverística. Una alternativa a esta problemática, es el empleo de compostas de residuos orgánicos regionales o locales derivados de desechos de cosecha o industriales los cuales al mezclarse con otros sustratos comerciales reducirían el costo de estos últimos (Pastor 1999; Reyes *et al.*, 2005; Zamora *et al.*, 2005; Hidalgo *et al.*, 2009; Cruz *et al.*, 2010; Mateo *et al.*, 2011).

La generación de mezclas de sustratos, puede realizarse mediante el uso de programación lineal (Gass 1969) o a través de otros programas como Statistical

Analysis System (SAS) (Cruz *et al.*, 2010). Con este último, Zamora *et al.* (2005), obtuvieron mezclas con base en las características físicas y químicas individuales de cada sustrato, en función de tres variables de diseño: materia orgánica (MO), capacidad de aire (CA) y espacio poroso total (EPT) con diferentes niveles de restricción para cada variable. Además, las mezclas se pueden elegir considerando su costo como una variable de diseño (Cruz *et al.*, 2010).

Asociado al uso de sustratos, el empleo de fertirrigación permite aplicar los nutrientes directamente a las raíces, acorde a la necesidad de las plantas, propiciando el crecimiento rápido de los portainjertos durante su desarrollo en el vivero (Boaretto *et al.*, 1999; Prado *et al.*, 2008; Baptista *et al.*, 2009). Una fertilización adecuada, evita desbalances nutricionales que alteran la morfología de la planta y prolongan el tiempo requerido para alcanzar las características deseables para su trasplante a campo (Bernardi *et al.*, 2000; Prado *et al.*, 2008). Además, el establecimiento de dosis de fertilización adecuadas, permiten tornar la producción económicamente viable, reflejado un ahorro económico de 20 a 50 % en fertilizantes (Rozane *et al.*, 2009).

En México, la investigación respecto al uso de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas es escasa, se divulga limitadamente y realiza de forma particular en cada empresa productora. De los 58 viveros registrados en México con producción certificada (SENASICA 2012), de estos se tiene referencia personal que en tres utilizan sustratos: Vivero Cuba-México (CUMEX) en Nautla, Veracruz; Promotora Citrícola del Golfo (PROCIGO) en Tempoal, Veracruz y Vivero Everfresh en Culiacán, Sinaloa. Esto indica la heterogeneidad del proceso de producción y el riesgo de propagar plagas y enfermedades debido al transporte de suelo de una región a otra.

En el estado de Veracruz existen 15 viveros certificados para la producción de plantas cítricas; de éstos, solo dos de ellos, viveros CU-MEX y PROCIGO mencionados anteriormente, utilizan sustratos. Las razones pueden ser probablemente por la falta de información del uso de sustratos o los altos costos de los sustratos comerciales. Una alternativa para esto es el uso de compostas elaboradas con residuos de cosecha; por ejemplo, en Martínez de la Torre ubicado en el centro del estado de Veracruz, donde se

sitúan la mayoría de viveros certificados, se elabora composta de gabazo de cítricos proveniente de los desechos de las industrias jugueras de la región. Esta composta tiene un costo de tres a cinco veces menor a un sustrato comercial, por lo que su uso en la actividad viverística de la zona generaría un ahorro en los insumos de producción. Con base en esto, los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar las propiedades físicas y químicas de los sustratos fibra de coco, tepezil y composta de gabazo de cítricos y evaluar el desarrollo de plantas en función de éstos y la fertirrigación. Además se comparó, relación costo-beneficio de las plantas producidas bajo estas condiciones.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Ubicación del sitio experimental

Esta investigación se realizó en uno de los invernaderos de la unidad de producción de Viveros San Manuel de la empresa Citrícola RV, en Martínez de la Torre, Veracruz, México, ubicada en las coordenadas 20° 04' de latitud norte y 97° 04' de longitud oeste, a 151 msnm. El invernadero certificado cuenta con una superficie de 5000 m² y está cubierto con malla antiáfidos de 0.03 mm y plástico en el techo.

2.2.2. Factores de estudio

Se desarrollaron dos experimentos durante el periodo enero-noviembre de 2011, utilizando los portainjertos *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq. y citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* Macf. x *Citrus paradisi* Raf.), y el injerto limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Se emplearon sustratos de diferentes orígenes como: fibra de coco (Fc) de origen comercial, tepezil (T) extraído de bancos de la zona de Perote, Veracruz, y composta (C) de bagazo de cítricos (naranja, limón y toronja) producida en la empresa Citrex® y se utilizó la solución nutritiva Steiner.

2.2.3. Caracterización de los sustratos y obtención de mezclas

Cada sustrato se caracterizó utilizando pruebas físicas y químicas convencionales. Las pruebas físicas incluyeron: densidad aparente (DA) por terrón parafinado; densidad real (DR) por picnómetro; porosidad total (PT), porosidad de

aireación (PA) y porosidad de retención de humedad (PRH) por los métodos reportados por Ansorena (1994) y Burés (1997); distribución de agregados en seco con porcentaje de tamaño de partícula >6.36, 6.36-4.76, 4.76-3.36, 3.36-2, 2.00-1.00, 1.00-0.50, 0.5-0.25, <0.25 con la prueba de granulometría de tamiz y porcentaje de humedad en la curva de liberación de agua a 0, 10, 50 y 100 cm de tensión de columna de agua. Con estos valores de tensión se obtuvo el agua fácilmente disponible (AFD), que es la diferencia de volumen de la curva de liberación de agua de 10 cm y 50 cm de tensión, y el agua de reserva que es la diferencia del volumen a 50 y 100 cm de tensión de la curva de liberación de agua según Búres (1997). Las pruebas químicas consistieron en determinación de pH y CE con potenciómetro y conductímetro respectivamente; contenido de materia orgánica por el método Walkley y Black; capacidad de intercambio catiónico (CIC) con prueba de embudo por el método del acetato de amonio ; Ca, Mg por titulación con el EDTA; Na Mg y K con fotómetro de flama; determinación de CO³ y HCO³ por volumetría con H₂SO⁴; Cl por volumetría AgNO³; SO⁴ por turbidímetro; nitrógeno total mediante el método de Microkjeldhal; P con el método de Olsen.

Partiendo de la caracterización individual de los tres sustratos se determinaron las mezclas posibles, utilizando la metodología descrita por Zamora *et al.*, 2005 modificada por Cruz *et al.*, 2010 que consistió en establecer en el programa SAS, los intervalos de las variables de diseño espacio poroso total (EPT) 60-75, porosidad de aire (PAA) 15-30, agua fácilmente disponible (AFD) 17.5-30, costo <1 y los valores de estas mismas variables correspondientes a cada sustrato indicados en el Cuadro 2.1.

CUADRO 2.1. Valores individuales de las variables de diseño de cada sustrato para la elaboración de mezclas.

Sustrato	EPT	PAA	AFD	ARR	COSTO
Fibra de coco	541.7	7.1	166.3	97.7	1.0
Tepezil	67.7	37.3	5.6	7.8	0.2
Composta	62.5	9.4	19.5	10.4	0.3

EPT: espacio poroso total; PAA: porosidad de aire, AFD: agua fácilmente disponible, ARR: agua de reserva.

De acuerdo a las variables de restricción establecidas se obtuvieron 25 mezclas posibles de las cuales se seleccionaron tres con menor costo y considerando que el volumen de fibra de coco y composta tuviera una diferencia del 10 % en cada una y el volumen de tepezil fuera constante (Cuadro 2.2).

CUADRO 2.2. Volumen de sustratos, valores de las variables de diseño y costos de las mezclas seleccionadas

Mezcla	Fibra de coco (%)	Tepezil (%)	Composta (%)	EPT	PAA	AFD	ARR	Costo \$
Mezcla 1	55	25	20	72.2	15.1	21.3	12.3	0.77
Mezcla 2	45	25	30	69.2	15.4	19.7	11.5	0.68
Mezcla 3	35	25	40	66.3	15.6	18.2	10.6	0.59

EPT: Espacio Poroso Total, PAA: Porosidad de aire, AFD: Agua Fácilmente Disponible.

Para la evaluación de la fertirrigación en la producción de plantas se utilizó la solución nutritiva Steiner modificada con amonio, conteniendo para macroelementos en ppm: N total= 168; N-NO₃= 126; N-NH₄= 42; P-PO₄= 31; K= 273; Ca=180; Mg= 48; S-SO₄= 111.88 y con una CE teórica de 2 dS·m⁻¹. Esta solución se utilizó en diferentes concentraciones para cada tratamiento de sustratos de acuerdo al experimento. Para los microelementos se utilizó una única dosis para todos los tratamientos que contenía en ppm: B=0.5; Mn=0.5; Fe=3; Zn=0.05; Cu= 0.025; Mo=0.02. El agua de riego se ajustó a un pH de 5 utilizando ácido fosfórico y ácido sulfúrico.

2.2.4. Primer experimento

Se utilizaron plántulas provenientes de semillas sembradas en tubetes cónicos de plástico con composta. El trasplante se realizó a bolsas plásticas de polietileno (de 25 cm de diámetro por 45 cm altura) 137 días después de la siembra. El riego se realizó por goteo localizado cuando el sustrato presentaba poca humedad, registrando en cada uno la cantidad de agua o solución nutritiva proporcionada, con el fin de conocer el requerimiento total de agua y fertilizante.

Se evaluaron los factores fertirrigación, sustratos y portainjertos. Para la fertirrigación se utilizaron tres niveles de concentración de la solución nutritiva Steiner que fueron: 50 %, 75 % y 100 %. Para los sustratos se evaluaron tres mezclas (M1, M2, M3) cuyos contenidos se presentan en el Cuadro 2.2. Se utilizaron dos portainjertos *C. volkameriana* y citrumelo Swingle. Se comparó un total de 18 tratamientos (Cuadro 2.3) con seis repeticiones, con arreglo en parcelas subdivididas en bandas, donde la parcela grande correspondió a la fertirrigación, la parcela mediana a las mezclas y la parcela

chica a los portainjertos. Dicho experimento se realizó por duplicado bajo las mismas condiciones. El análisis estadístico se realizó en conjunto para ambos experimentos.

CUADRO 2.3. Descripción de tratamientos evaluados en la producción de plantas cítricas.

Tratamiento No.	Portainjerto	Sustrato ^y (%)			Fertilización ^z (%)
		Fc	T	C	
1	<i>C. volkameriana</i>	35	25	40	50
2	Citrumelo Swingle	35	25	40	50
3	<i>C. volkameriana</i>	45	25	30	50
4	Citrumelo Swingle	45	25	30	50
5	<i>C. volkameriana</i>	55	25	20	50
6	Citrumelo Swingle	55	25	20	50
7	<i>C. volkameriana</i>	35	25	40	75
8	Citrumelo Swingle	35	25	40	75
9	<i>C. volkameriana</i>	45	25	30	75
10	Citrumelo Swingle	45	25	30	75
11	<i>C. volkameriana</i>	55	25	20	75
12	Citrumelo Swingle	55	25	20	75
13	<i>C. volkameriana</i>	35	25	40	100
14	Citrumelo Swingle	35	25	40	100
15	<i>C. volkameriana</i>	45	25	30	100
16	Citrumelo Swingle	45	25	30	100
17	<i>C. volkameriana</i>	55	25	20	100
18	Citrumelo Swingle	55	25	20	100

^yFc: fibra de coco; T: tepezil; C: composta.

^zSolución nutritiva Steiner modificada con amonio.

A los 121 días después de trasplante se evaluaron las variables diámetro y altura del portainjerto. En esta fecha se observó poca adaptabilidad del portainjerto citrumelo Swingle reflejada en un crecimiento lento, presencia de amarillamiento y quemaduras en el borde de las hojas; estado atribuido a las condiciones de pH y CE altos propiciadas por la mezcla y los niveles de fertirrigación. Con base en estas observaciones se estableció un segundo experimento descrito a continuación.

2.2.5. Segundo experimento

Las plántulas utilizadas en este experimento, se obtuvieron de la unidad de producción arriba mencionada, sembradas en un almácigo elaborado en una mezcla de suelo agrícola, tepezil y composta en proporción 1:1:1.

Con base en lo observado en el experimento uno se evaluó tres sustratos y dos portainjertos. Para los sustratos se estableció la mezcla 1 (M1= Fc 35 %, T 25 %, C 40 %), mezcla 3 (M3= Fc 55 %, T 25 %, C 20 %), fibra de coco y suelo agrícola (testigo). La fibra de coco se seleccionó debido a que se usa ampliamente en otros cultivos y ha mostrado resultados eficientes en plantas de cítricos (Comunicación personal; Zamora *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2008). Se evaluaron los portainjertos *C. volkameriana* y citrumelo Swingle. Se comparó un total de 8 tratamientos (Cuadro 2.4) con tres repeticiones (1 planta por repetición) en 4 bloques, distribuidos en un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo de los tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a los sustratos y la parcela chica a los portainjertos.

CUADRO 2.4. Descripción de tratamientos evaluados en la producción de plantas cítricas, en el segundo experimento.

Tratamiento No.	Portainjerto	Sustrato ²		
		Fc (%)	T (%)	C (%)
1	<i>C. volkameriana</i>	35	25	40
2	Citrumelo Swingle	35	25	40
3	<i>C. volkameriana</i>	55	25	20
4	Citrumelo Swingle	55	25	20
5	<i>C. volkameriana</i>	100		
6	Citrumelo Swingle	100		
7	<i>C. volkameriana</i>	Suelo agrícola (testigo)		
8	Citrumelo Swingle	Suelo agrícola (testigo)		

²Fc: fibra de coco; T: tepezil; C: composta.

El riego se suministró de forma manual con un recipiente graduado directamente a la planta cuando el porcentaje de humedad era igual o menor que 80%; el déficit de agua aplicado se obtuvo de la diferencia en ml entre peso húmedo de saturación (PHS) y el peso húmedo (PH). El % de humedad se calculó de la forma siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{PH}) * 100}{(\text{PHS})}$$

Los cálculos se realizaron seleccionando una planta al azar de cada repetición, teniendo en total de 4 plantas por tratamiento; el promedio de estas fueron los datos considerados en los cálculos.

La cantidad de agua aplicada a cada tratamiento se registró en ml, la cantidad de agua o solución nutritiva proporcionada se anotó por separado, con el fin de conocer el requerimiento total de agua y fertilizante.

El pH y la CE del lixiviado se midieron en cada tratamiento; cuando la CE fue $\leq 1.2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se fertirrigó con 10 % de concentración de solución Steiner en el siguiente riego a todos los tratamientos de sustratos (excepto suelo agrícola). Las mezclas M1 y M3 mostraron un pH entre 7 y 8 en el lixiviado, por lo que a partir del día 46 después del trasplante, el agua que se aplicaba en el riego se acondicionó a un pH de 4 para los tratamientos con mezclas de sustratos.

Se midieron las variables altura (cm), diámetro (mm) y peso de biomasa seca (g) en todas las repeticiones de cada tratamiento.

Se evaluaron las variables área foliar (cm^2), contenidos de macronutrientes ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), micronutrientes ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), fotosíntesis como tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N) en $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, transpiración (E) en $\text{m mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conductancia estomática (g_s) en $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y clorofila (unidades SPAD). Para dichas variables se realizaron tres observaciones al azar de cada tratamiento haciendo un total de 24 observaciones.

Para calcular el peso de biomasa seca (g) cada planta fue fragmentada y secada en bolsas de papel individuales en un horno de aire forzado a 60°C por 72 hr.

Para el cálculo del área foliar (cm^2), se seleccionaron tres plantas al azar de cada tratamiento, las hojas de cada planta se dibujaron en hojas de papel, se recortaron y pesaron para determinar el peso por planta (PP) en papel. Conociendo el peso de 1 cm^2 (P1) se calculó el área de la planta; por lo que:

$$\text{Área foliar} = \text{PP}/\text{P1}.$$

Para la determinación de los macronutrientes nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y sodio (Na) y micronutrientes cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B); se utilizó el material vegetativo usado para calcular el peso de biomasa seca, con el cual se realizaron 24 muestras

compuestas, que correspondieron a 3 muestras para cada tratamiento; estas muestras compuestas corresponden a la mezcla de hojas, tallos y raíces de tres plantas cada una.

La fotosíntesis y la clorofila se midieron a los 152 días después del trasplante; para ello se realizaron tres observaciones por tratamiento durante el mediodía utilizando los lectores LC-Pro Modelo SPA502 Portable PhotoSynthesis System, (ADC BioScientific Limited; Hertfordshire, Inglaterra) y fluorómetro Minolta (SPAD modelo 502), respectivamente. Para ello se seleccionaron al azar hojas de tres plantas por tratamiento.

Adicionalmente, la temperatura y humedad relativa se registraron cada hora dentro y fuera del invernadero por medio de dataloggers.

Se analizaron estadísticamente los datos de ambos experimentos en el programa SAS versión 9.3 (SAS INSTITUTE, 2011) utilizando PROC GLM para el análisis de varianza; para los efectos significativos se utilizaron las medias ajustadas (LSMEANS) y la comparación múltiple de medias se realizó mediante la opción PDIFF que utiliza el estadístico de *t*.

2.2.6. Determinación de la relación costo beneficio

En el segundo experimento, se realizó una comparación de costos considerando el uso de sustratos y suelo agrícola. Se determinaron los costos variables para cada tratamientos: costo de sustratos por bolsa, cantidad de fertilizante vertida durante el experimento y gastos de deshierbe para suelo agrícola.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Caracterización de sustratos

Las características físicas y químicas encontradas en los sustratos, reveló las diferencias existentes entre ellas. Los sustratos fibra de coco y composta presentan características cercanas o dentro del valor óptimo, en contraste con el tepezil el cual presentó valores fuera de los intervalos óptimos reportados por Abad *et al.* (1993).

CUADRO 2.5. Valores de las principales características físicas de los sustratos evaluados.

Sustrato	Da (g·cm ⁻³)	Dr (g·cm ⁻³)	PT (%)	PAA (%)	PRH (%)
Fibra de coco	0.19	1.15	91.7	7.15	84.55
Tepezil	0.45	1.64	67.65	37.3	30.3
composta	0.84	2.04	62.25	9.45	52.8
Óptimo ^z	<0.40	1.4-2.6	>85	10-30	55-70

Da: densidad aparente; Dr: densidad real; Pt: porosidad total; PAA: porosidad de aeración; PRH: porosidad de retención de humedad.

^zValores óptimos reportados por Abad *et al.* (1993).

Los valores obtenidos en la curva de liberación de agua para los sustratos caracterizados (Cuadro 2.6), no se ajustan a los parámetros de los valores óptimos reportados por De Boodt *et al.* (1974). En dicha prueba el sustrato fibra de coco tuvo un comportamiento fuera de los parámetros reportados como óptimos.

CUADRO 2.6. Valores de la curva de liberación de agua en tenciones de 0, 10, 50, 100 cm de los sustratos.

Sustrato	Tensión de Columna de Agua			
	0 (cm)	10 (cm)	50 (cm)	100 (cm)
Fibra de coco	750	684.9	518.6	425.9
Tepezil	70	60.4	54.8	47
Composta	93	84.1	64.6	54.2
Óptimo ^z	10	50	75	80

^zValores óptimos reportados por De Boodt *et al.*, 1974.

Como parte de la caracterización física, los porcentajes de contenido de partículas por tamaños se presentan en el Cuadro 2.7, donde se observa que el 28 % de las partículas del tepezil presenta tamaño > 3.36 mm. La fibra de coco presenta una granulometría cuyas partículas en su mayoría tienen un tamaño < 2 mm y la composta presenta una granulometría fina donde los porcentajes más altos se presentan en tamaños < 1 mm.

CUADRO 2.7. Porcentaje del tamaño de partículas contenidas en los sustratos caracterizados.

Sustrato	Tamaño de partículas (mm)							
	>6.36	6.36-4.76	4.76-3.36	3.36-2	2.00-1.00	1-0.5	0.05-0.25	<0.25
Fibra de coco	5.22	0.79	3.15	5.32	27.09	37.64	11.03	9.75
Tepezil	28.09	8.01	22.6	14.39	10.56	2.87	1.61	11.87
Composta	0.15	0.07	0.72	4.12	19.47	31.75	16.53	27.18

Las características químicas determinadas en los sustratos, presentaron diferencias con aquellas óptimas reportadas por Abad *et al.*, 1993 (Cuadro 2.8). La fibra de coco presentó valores similares a los valores reportados como óptimos. Para el tepezil, los valores de CIC y CE fueron menores al intervalo óptimo, mientras que el pH fue superior a este. La composta presentó valores de pH, CE y capacidad de intercambio catiónico (CIC) cercanos al intervalo óptimo; siendo la CE la más alejada de dicho intervalo.

CUADRO 2.8. Valores de las principales características químicas de los sustratos caracterizados.

Sustrato	pH	CE (dS·m ⁻¹)	MO (%)	CIC (mq·100g ⁻¹)
Fibra de coco	5.85	1.00	77.30	69.33
Tepezil	8.35	0.56	6.95	4.30
composta	7.26	6.94	24.05	21.15
Óptimo ^z	5.3-6.3	0.75-3.5		>20

^zAbad *et al.*, 1993.

pH: potencial de hidrogeno; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

En el Cuadro 2.9 se presenta el contenido de los principales elementos y compuestos obtenidos de la caracterización química de los sustratos. En la composta se encontraron contenidos superiores de la mayoría de los elementos, comparados con el tepezil y la fibra de coco los cuales presentaron valores más bajos.

CUADRO 2.9. Contenido de nutrientes y compuestos en los sustratos evaluados.

Elemento o compuesto	Unidad	Sustratos		
		Fibra de coco	Tepezil	Composta
Ca ⁺⁺	(meq·l ⁻¹)	0.68	1.99	9.11
Mg ⁺⁺	(meq·l ⁻¹)	0.15	1.51	10.62
Na ⁺	(meq·l ⁻¹)	2.66	1	4.76
K ⁺	(meq·l ⁻¹)	0.54	5.06	41.8
CO ³	(meq·l ⁻¹)	0	0	0
HCO ³	(meq·l ⁻¹)	1.57	3.26	4.93
Cl	(meq·l ⁻¹)	5.65	0.83	9.33
SO ⁴	(meq·l ⁻¹)	3.63	3.63	24.72
N total	(%)	0.45	0.07	0.74
Fosforo	(mg·kg ⁻¹)	69.7	10.1	470.33
Potasio	(cmol·kg ⁻¹)	20.8	0.41	16.9

2.3.2. Primer experimento

A los 88 días después del trasplante, el portainjerto citrumelo Swingle presentó un crecimiento pobre, clorosis foliar y quemaduras alrededor de las hojas adultas, situación diferente a lo observado en *C. volkameriana* que presentó un desarrollo normal.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre experimentos. Sin embargo el análisis de varianza para el modelo presentó una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) para ambas variables. En dicho análisis se encontró que el efecto del portainjerto y de la interacción 'portainjerto x sustrato' fueron significativos ($p < 0.01$) en términos de error de 'repetición x portainjerto (sustrato)' (Cuadro 2.10).

CUADRO 2.10. Análisis de varianza de las variables altura y diámetro del portainjerto por el efecto de los sustratos fertilización en dos experimentos.

Fuente de variación	G.L.	C.M. Altura	C.M. Diámetro
Modelo	78	478.78**	3.089**
Error	137	78.98	0.73
Total corregido	215		
Experimento	1	0.11 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Repetición	5	24.84 ^{ns}	0.53 ^{ns}
Sustratos ^z	2	122.79 ^{ns}	1.23 ^{ns}
Repetición x Sustratos	10	63.44 ^{ns}	0.71 ^{ns}
Portainjerto ^y	1	30530.66**	161.72**
Portainjerto x Sustratos ^y	2	449.17**	6.69**
Repetición x portainjerto	15	67.24 ^{ns}	0.48 ^{ns}
Fertilización ^w	2	94.35 ^{ns}	4.45 ^{ns}
Repetición x fertilización	10	182.22*	1.25 ^{ns}
Fertilización x Sustratos ^v	4	60.78 ^{ns}	0.75 ^{ns}
Repetición x Fertilización x Sustratos	20	58.03 ^{ns}	0.91 ^{ns}
Fertilización x Portainjerto	2	153.78 ^{ns}	0.77 ^{ns}
Fertilización x Portainjerto x Sustratos	4	45.28 ^{ns}	0.49 ^{ns}

^z Efecto probado utilizando el efecto de 'repetición x sustrato' como termino de error.

^y Efecto probado utilizando el efecto de 'repetición x portainjerto (sustrato)' como termino de error.

^w Efecto probado utilizando el efecto de 'repetición x fertilización' como termino de error.

^v Efecto probado utilizando el efecto de 'repetición x fertilización x sustrato' como termino de error.

G.L.: grados libertad; C.M.: cuadrado medio.

^{ns}; *, ** : no significativo, significativo ($p < 0.05$) y ($p < 0.01$), respectivamente.

Los portainjertos presentaron una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$). La prueba de separación de medias (PDIFF) indicó que *C. volkameriana* presentó valores medios en altura y diámetro de 43.21 cm y 5.47 mm respectivamente, en contraste con los valores encontrado para citrumelo Swingle 19.43 cm y 3.74 mm para dichas variables.

En el Cuadro 2.11 para la interacción 'portainjerto x sustrato', se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos para las variables altura y diámetro. Las plantas de *C. volkameriana* cultivadas en la mezcla 1 presentaron los valores más altos de altura (44.5 cm) y diámetro (5.88 mm); mientras que los valores más bajos de estas dos variables se obtuvieron en citrumelo Swingle en cada una de las mezclas.

CUADRO 2.11. Separación de medias de las variables altura y diámetro del portainjerto en la interacción 'portainjerto x sustrato'.

Portainjerto	Sustrato	Altura (cm)	Diámetro (mm)
<i>C. volkameriana</i>	Mezcla 1	44.50 a ^z	5.88 a
<i>C. volkameriana</i>	Mezcla 2	43.12 a	5.39 b
<i>C. volkameriana</i>	Mezcla 3	42.02 a	5.13 b
Citrumelo Swingle	Mezcla 1	16.15 c	3.60 d
Citrumelo Swingle	Mezcla 2	18.58 c	3.56 d
Citrumelo Swingle	Mezcla 3	23.58 b	4.05 c

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

2.3.3. Segundo experimento

El modelo estadístico utilizado para el análisis de varianza de las variables de crecimiento (altura, diámetro y peso de biomasa seca) en los portainjertos cultivados en cuatro sustratos, mostró diferencias altamente significativas. Los efectos del sustrato y 'sustrato x portainjerto' fueron altamente significativos para las tres variables de crecimiento evaluadas; mientras que el portainjerto fue altamente significativo solo para las variables altura y peso de biomasa seca ($p < 0.01$) (Cuadro 2.12).

CUADRO 2.12. Análisis de varianza de las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca, por efecto de los sustratos y portainjertos evaluados

Fuente de variación	G.L.	C.M. Altura	C.M. Diámetro	C.M. Peso de biomasa seca
Modelo	19	2061.24**	2.83**	210.40**
Error	76	118.99	0.6	18.28
Total corregido	95			
Bloque	3	176.37 ^{ns}	1.07 ^{ns}	43.70 ^{ns}
Sustrato ^z	3	752.51**	8.09**	197.30**
Bloque x Sustrato	9	71.69 ^{ns}	0.54 ^{ns}	6.12 ^{ns}
Portainjerto	1	20358.37**	2.05 ^{ns}	1738.25**
Sustrato x portainjerto	3	5124.45**	6.49**	493.79**

^zEfecto probado utilizando el efecto de 'bloque x sustrato' como termino de error.

G.L.: grados libertad; C.M.: cuadrado medio.

^{ns}, *, **: no significativo, significativo ($p < 0.05$) y ($p < 0.01$), respectivamente.

La comparación de medias de las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca por efecto del sustrato se presentan en el Cuadro 2.13. Las plantas establecidas en suelo agrícola y mezcla 1 fueron estadísticamente similares y presentaron los valores más altos (71.29 y 64.8 cm), a diferencia de aquellas establecidas en la mezcla

3 y fibra de coco con valores más bajos (59.33 y 59.54 cm) pero estadísticamente similares a la mezcla 1. Respecto al diámetro del tallo, los valores más altos (8.03 y 7.84 mm) se obtuvieron en plantas crecidas en fibra de coco y suelo agrícola, y los valores más bajos en la mezcla 1 y mezcla 3. El peso de biomasa seca fue mayor (18.30 g) en las plantas crecidas en suelo agrícola, mientras que el más bajo (11.49 g) fue para aquellas cultivadas en la mezcla 3.

CUADRO 2.13. Comparación de medias ajustadas para las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca de acuerdo al efecto de 'sustrato'.

Sustrato	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso de biomasa seca (g)
Mezcla 1	64.08 ab ^z	7.09 b	15.61 b
Mezcla 3	59.33 b	6.82 b	11.49 d
Fibra de coco	59.54 b	8.03 a	13.90 c
Suelo agrícola	71.29 a	7.84 a	18.30 a

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El análisis de comparación de medias de la interacción 'sustrato x portainjerto' para las variables altura, diámetro y peso seco de biomasa, se presenta en el Cuadro 2.14. Los valores de altura más altos (98.75 cm) se presentaron en la combinación 'mezcla 1 x *C. volkameriana*', seguido del resto de las combinaciones donde los valores de altura fluctuaron de 29.42 a 73.33 cm. Los diámetros de tallos más altos se obtuvieron en las combinaciones 'suelo agrícola x citrumelo Swingle' y 'fibra de coco x *C. volkameriana*' con valores de 8.32 y 8.27 mm respectivamente.

Se observaron diferencias notables en el peso de biomasa seca de las plantas en todas las combinaciones, resaltando el valor de 26.04 g en la interacción 'mezcla 1 x *C. volkameriana*', respecto al resto de las interacciones.

CUADRO 2.14. Comparación de medias ajustadas para las variables altura, diámetro y peso de biomasa seca para la interacción 'sustrato x portainjerto'.

Sustrato	Portainjerto	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso de biomasa seca (g)
Mezcla 1	<i>C. volkameriana</i>	98.75a ^z	7.87ab	26.04a
Mezcla 3	<i>C. volkameriana</i>	73.33b	6.87bc	15.54b
Fibra de coco	<i>C. volkameriana</i>	69.08b	8.27a	16.87b
Suelo agrícola	<i>C. volkameriana</i>	71.33b	7.36b	17.88b
Mezcla 1	citrumelo Swingle	29.42d	6.31c	5.18d
Mezcla 3	citrumelo Swingle	45.33c	6.78bc	7.44d
Fibra de coco	citrumelo Swingle	50.00c	7.79ab	10.93c
Suelo agrícola	citrumelo Swingle	71.25b	8.32a	18.73b

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El Cuadro 2.15 presenta el análisis de varianza para área foliar, parámetros fotosintéticos (A_N , E y g_s) y clorofila. El área foliar y la A_N presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el modelo, mientras que la E y clorofila fueron significativas ($p < 0.05$) y la g_s no presentó diferencias ($p > 0.05$).

Se observó efecto de las repeticiones para los parámetros fotosintéticos A_N y E y para clorofila al mostrar diferencias altamente significativas y significativas respectivamente (Cuadro 2.15). El efecto del portainjerto fue altamente significativo para el área foliar y significativo para los parámetros fotosintéticos. La interacción 'sustrato x portainjerto' fue altamente significativa solamente para el área foliar. (Cuadro 2.15).

CUADRO 2.15. Análisis de varianza de las variables área foliar, fijación neta de CO₂, transpiración, conductancia estomática y clorofila por efecto de sustrato y portainjerto.

Fuente de variación	G.L.	C.M. Área Foliar	C.M. A _N	C.M. E	C.M. g _s	C.M. Clorofila
Modelo	15	93109.46**	52.89**	2.73*	0.01 ^{ns}	0.0050*
Error	8	8741.7	8.7	0.64	0.003	0.0012
Total corregido	23					
Repetición	2	1966.60 ^{ns}	278.79**	8.48**	0.014 ^{ns}	0.006*
Sustrato ^z	3	31200.77 ^{ns}	25.21 ^{ns}	3.5 ^{ns}	0.015*	0.004 ^{ns}
Repetición x Sustrato	6	17130.16 ^{ns}	13.02 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	0.006*
Portainjerto	1	845025.48**	59.22*	7.24*	0.07*	0.00006 ^{ns}
Sustrato x portainjerto	3	117100.00**	7.62 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	0.0027 ^{ns}

^zEfecto probado utilizando el efecto de 'repetición x sustrato' como termino de error.

G.L.: grados libertad; C.M.: cuadrado medio.

A_N: fijación neta de CO₂, E: transpiración, g_s: conductancia estomática.

^{ns}, *, **: no significativo, significativo (p<0.05) y (p<0.01), respectivamente.

En el Cuadro 2.16 se presenta el análisis de medias ajustadas para las variables área foliar, A_N, E, g_s y clorofila. Las plantas de *C. volkameriana* cultivadas en fibra de coco presentaron los valores más altos de A_N y fueron diferentes a los obtenidos con el citrumelo Swingle crecido en la M1 y M3 con los valores más bajos (4.26 y 6.55 μ mol m⁻²s⁻¹). Los tratamientos 'mezcla 3 x *C. volkameriana*' y 'fibra de coco x *C. volkameriana*' presentaron valores superiores (4.76 y 4.80 mmol m⁻²s⁻¹) para la variable E, estos fueron diferentes a los observados en el citrumelo Swingle cultivado en M1 y M3 y *C. volkameriana* en M1. Efecto similar se observó para la variable g_s.

CUADRO 2.16. Comparación de medias ajustadas de las variables área foliar, fijación neta de CO₂, transpiración y conductancia estomática para la interacción 'sustrato x portainjerto'.

Sustrato	Portainjerto	Área foliar cm ²	A _N (μ mol m ⁻² s ⁻¹)	E (m mol m ⁻² s ⁻¹)	g _s (mol m ⁻² s ⁻¹)
Mezcla 1	<i>C. volkameriana</i>	969.87a ^z	8.12ab	3.18b	0.24ab
Mezcla 3	<i>C. volkameriana</i>	662.33b	11.04ab	4.76a	0.35a
Fibra de coco	<i>C. volkameriana</i>	592.10b	12.70a	4.80a	0.33a
Suelo agrícola	<i>C. volkameriana</i>	672.93b	10.47ab	4.50ab	0.31ab
Mezcla 1	Citrumelo Swingle	198.63c	4.26b	2.08b	0.11b
Mezcla 3	Citrumelo Swingle	316.07c	6.55b	3.20b	0.21b
Fibra de coco	Citrumelo Swingle	332.23c	8.27ab	3.75ab	0.24ab
Suelo agrícola	Citrumelo Swingle	549.17b	10.68ab	3.82ab	0.23ab

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0.05).

A_N: fijación neta de CO₂, E: transpiración, g_s: conductancia estomática.

El análisis de varianza de la concentración de macroelementos ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) presentado en el Cuadro 2.17, indicó que hay diferencias altamente significativas en el modelo ($p<0.01$) para P, Ca, Mg y Na, significativas ($p<0.05$) para S y no significativas ($p>0.05$) para N y K. El 'sustrato' presentó diferencias altamente significativas para P, Ca, Mg, Na, significativa para S y no significativas para N y K. Los portainjertos presentaron diferencias significativas ($p<0.05$) para Mg y diferencias altamente significativas ($p<0.01$) en la concentración de P y Na. La interacción 'sustrato x portainjerto' presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) en la concentración de K, P, S, Na y diferencias altamente significativas para el Mg.

CUADRO 2.17. Análisis de varianza de la concentración de macroelementos ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) por efecto del sustrato y el portainjerto.

Fuente de variación	G.L.	C.M. Nitrógeno	C.M. Potasio	C.M. Fosforo	C.M. Calcio	C.M. Magnesio	C.M. Azufre	C.M. Sodio
Modelo	15	39.19 ^{ns}	0.63 ^{ns}	1.82 ^{**}	37.38 ^{**}	0.23 ^{**}	1.59 [*]	0.18 ^{**}
Error	4	34.99	0.25	0.047	2.78	0.01	0.40	0.03
Total corregido	19							
Repetición	2	12.79 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Sustrato ^z	3	95.81 ^{ns}	0.97 ^{ns}	7.99 ^{**}	182.11 ^{**}	0.73 ^{**}	4.37 [*]	0.51 ^{**}
Repetición x Sustrato	6	23.46 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Portainjerto	1	35.22 ^{ns}	0.12 ^{ns}	2.28 ^{**}	6.02 ^{ns}	0.14 [*]	1.72 ^{ns}	0.43 ^{**}
Sustrato x portainjerto	3	4.66 ^{ns}	1.18 [*]	0.26 [*]	1.25 ^{ns}	0.31 ^{**}	1.95 [*]	0.15 [*]

^zEfecto probado utilizando el efecto de 'repetición x sustrato' como termino de error.

G.L.: grados libertad; C.M.: cuadrado medio.

^{ns}; *, **: no significativo, significativo ($p<0.05$) y ($p<0.01$), respectivamente.

No se encontraron diferencias estadísticas de la acumulación de N entre tratamientos; sin embargo las plantas cultivadas en fibra de coco presentaron clorosis generalizada para ambos portainjertos durante los últimos días del experimento, esto pudo deberse a los bajos niveles 12.16 y 16.58 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de N encontrados en *C. volkameriana* y citrumelo Swingle respectivamente.

Los niveles de concentración de P fueron estadísticamente diferentes para todas las mezcla, sin embargo la mezcla 3 presento una acumulación superior (4.03 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$). La concentración de Ca fue superior en la mezcla 1 (20.33 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) en contraste con la menor acumulación en fibra de coco (7.15 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$). Las concentraciones de Mg, S y Na fueron superiores en aquellas plantas cultivadas en suelo agrícola seguida de aquellas cultivadas en M3 (Cuadro 2.18).

CUANDRO 2.18. Comparación de medias ajustadas de la concentración de macroelementos ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) en los portainjertos por efecto del sustrato.

Sustrato	Fosforo	Calcio	Magnesio	Azufre	Sodio
Mezcla 1	2.61b	20.33a	2.37b	2.37b	2.61b
Mezcla 3	4.03a ^z	15.77b	2.48b	2.48b	3.71a
Fibra de coco	1.33d	7.15c	2.33b	2.33b	2.26b
Suelo agrícola	1.96c	15.84b	3.08a	3.08a	4.04a

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P\leq 0.05$).

Las diferencias entre tratamientos para la interacción 'sustrato x portainjerto' en las variables de macroelementos de se presentan en el Cuadro 2.19. La mayor concentración ($3.67 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) de K se presentó en citrumelo Swingle cultivado en suelo agrícola (testigo), diferente estadísticamente con aquellas cultivadas en M1 y fibra de coco, de *C. volkameriana* cultivadas M1, M3 y suelo agrícola. El P presento una mayor acumulación en el citrumelo Swingle cultivado en la M3 en contraste con aquellas cultivadas en fibra de coco y *C. volkameriana* en fibra de coco y suelo agrícola. La concentración de Mg y S presentaron un comportamiento similar, las mayores acumulaciones se observaron en citrumelo Swingle cultivadas en suelo agrícola (testigo), mientras que los valores más bajos se presentaron en *C. volkameriana* cultivada en fibra de coco. Los contenidos de Na encontrados en *C. volkameriana* cultivados en M3 y fibra de coco y citrumelo Swingle en contraste con menor valor encontrado en citrumelo Swingle cultivados en M1.

CUADRO 2.19. Comparación de medias ajustadas de la concentración de macroelementos ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) por el efecto de la interacción 'sustrato x portainjerto'.

Sustrato	Portainjerto	K	P	Mg	S	Na
Mezcla1	<i>C. volkameriana</i>	2.07b	2.01d	2.52c	2.87b	1.26b
Mezcla3	<i>C. volkameriana</i>	2.39b	3.69b	2.57c	3.89ab	1.55a
Fibra de coco	<i>C. volkameriana</i>	3.20ab	1.15e	2.03d	1.62c	1.16bc
Suelo agrícola	<i>C. volkameriana</i>	2.68b	1.84de	2.83b	3.17b	1.69a
Mezcla1	Citrumelo Swingle	2.83ab	3.20c	2.22d	2.35bc	0.87c
Mezcla3	Citrumelo Swingle	2.10b	4.37a	2.39cd	3.54b	0.89bc
Fibra de coco	Citrumelo Swingle	2.31b	1.52e	2.63bc	2.90b	1.10bc
Suelo agrícola	Citrumelo Swingle	3.67a	2.08d	3.33a	4.91a	1.73a

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P\leq 0.05$).

El Cuadro 2.20 indica que el modelo estadístico fue diferente para los microelementos Fe, Mn, Zn, B, ($p < 0.001$) y Cu ($p < 0.05$). El efecto del 'sustrato' presentó diferencias altamente significativas de la acumulación de todos los microelementos. El efecto 'portainjerto' indujo una concentración diferente ($p < 0.05$) en Mg y Zn, y una acumulación de B con diferencias altamente significativas. La interacción 'sustrato x portainjerto' fue altamente significativa para la concentración de Mg y significativa para Zn.

CUADRO 2.20. Análisis de varianza de la concentración de microelementos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por efecto del sustrato y del portainjerto.

Fuente de variación	G.L.	C.M. Cobre	C.M. Fierro	C.M. Manganeso	C.M. Zinc	C.M. Boro
Modelo	15	274.39*	1272784.92**	14187.72**	6084.95**	213.21**
Error	8	74.51 ^{ns}	41315.16	837.49	382.67	26.63
Total corregido	23					
Repetición	2	15.36 ^{ns}	43211.09 ^{ns}	797.55 ^{ns}	471.38 ^{ns}	99.73 ^{ns}
Sustrato ²	3	986.01**	6199440.49**	58885.61**	26218.12**	653.53**
Repetición x Sustrato	6	131.09 ^{ns}	53593.41 ^{ns}	618.19 ^{ns}	335.11 ^{ns}	22.01 ^{ns}
Portainjerto	1	10.94 ^{ns}	12362.42 ^{ns}	8809.00*	3439.22*	867.60**
Sustrato x portainjerto	3	109.87 ^{ns}	24369.11 ^{ns}	7348.58**	2075.78*	12.79 ^{ns}

²Efecto probado utilizando el efecto de 'repetición x sustrato' como termino de error.

G.L.: grados libertad; C.M.: cuadrado medio.

^{ns}; *, **: no significativo, significativo ($p < 0.05$) y ($p < 0.01$), respectivamente.

La comparación de medias en el efecto del sustrato de la acumulación de micronutrientes se detalla en el Cuadro 2.21. La acumulación de cobre presento valores superiores ($60.93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en las plantas cultivadas en fibra de coco que fueron diferentes al resto. El Fierro presentó una acumulación superior ($2481.73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en las plantas cultivadas en suelo agrícola (testigo) en contraste con las cultivadas en fibra de coco que presentaron una acumulación inferior ($198.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) al resto. Sin embargo, la acumulación para Mn, Zn y B fue superior en las plantas cultivadas en fibra de coco e inferiores para la M1.

CUANDRO 2.21. Comparación de medias ajustadas de la concentración de microelementos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en los portainjertos por el efecto del sustrato.

Sustrato	Cobre	Fierro	Manganeso	Zinc	Boro
Mezcla 1	37.12b	629.63b	22.45c	36.57c	85.87c
Mezcla 3	32.47b	646.20b	26.85c	63.88b	93.40b
Fibra de coco	60.93a	198.55c	234.42a	178.57a	106.20a
Suelo agrícola	37.55b	2481.73a	83.12b	44.63bc	82.75c

Mezcla 1: fibra de coco 35 %, tepezil 25 %, composta 40 %; Mezcla 3: fibra de coco 55 %, tepezil 25 %, composta 20 %.

²Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P\leq 0.05$).

La comparación de medias de la concentración de Mg y Zn presentaron los mayores valores (30.6 y $218.27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en citrumelo Swingle cultivado en fibra de coco, y la menor concentración (21.03 y $35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en *C. volkameriana* cultivada en M1.

La relación de demanda hídrica y la altura de las plantas en la interacción 'sustrato x portainjerto' se presentan en la Figura 2.1. El mayor requerimiento hídrico (11.21 litros) se registró en *C. volkameriana* cultivada en la M1 y fibra de coco. Para los portainjertos cultivados en suelo agrícola (testigo) se observó una relación proporcional entre la demanda hídrica y la altura.

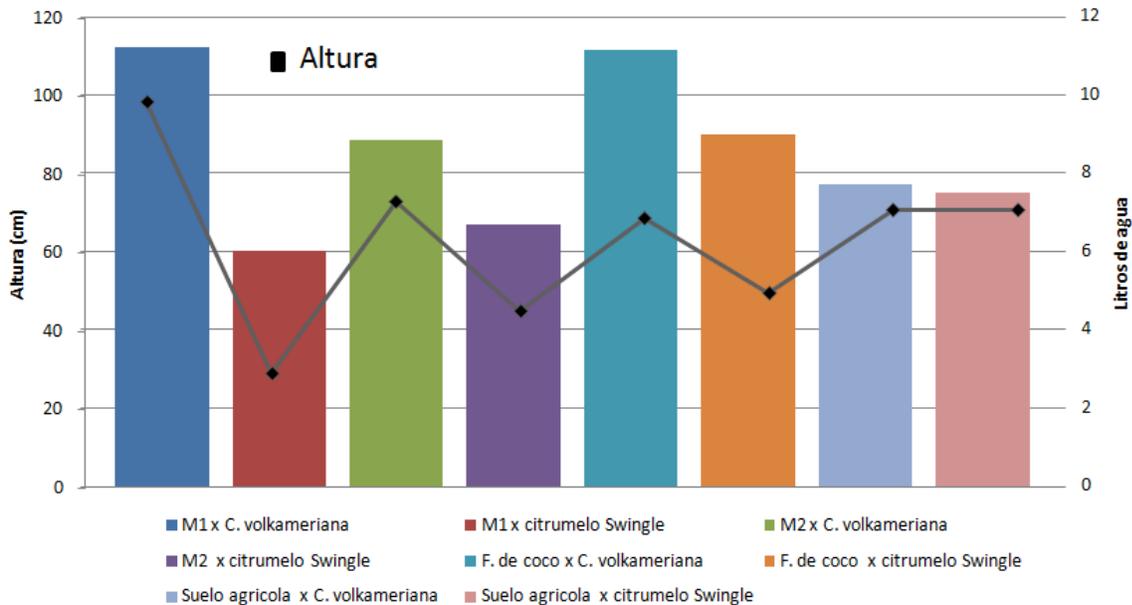


FIGURA 2.1. Relación demanda hídrica y altura de los portainjertos cultivados en sustratos diferentes.

La cantidad de fertilizante proporcionado a cada tratamiento no presentó una relación directa entre cantidad y altura. Sin embargo, aunque las cantidades fueron diferentes, la mezcla 1 requirió menos fertilizante para ambos portainjertos que el resto de los sustratos. El sustrato fibra de coco presentó un requerimiento ligeramente menor al doble de fertilizante que el proporcionado a las mezclas.

Las temperaturas que se registraron durante el periodo del experimento se presentan en la Figura 2.2. Durante los meses de abril, mayo, junio y agosto se presentaron las temperaturas más altas dentro y fuera del área de producción. Sin embargo, adentro de la unidad se registraron temperaturas de 3 a 7 °C más que afuera. Las temperaturas mínimas fueron similares dentro y fuera del invernadero,

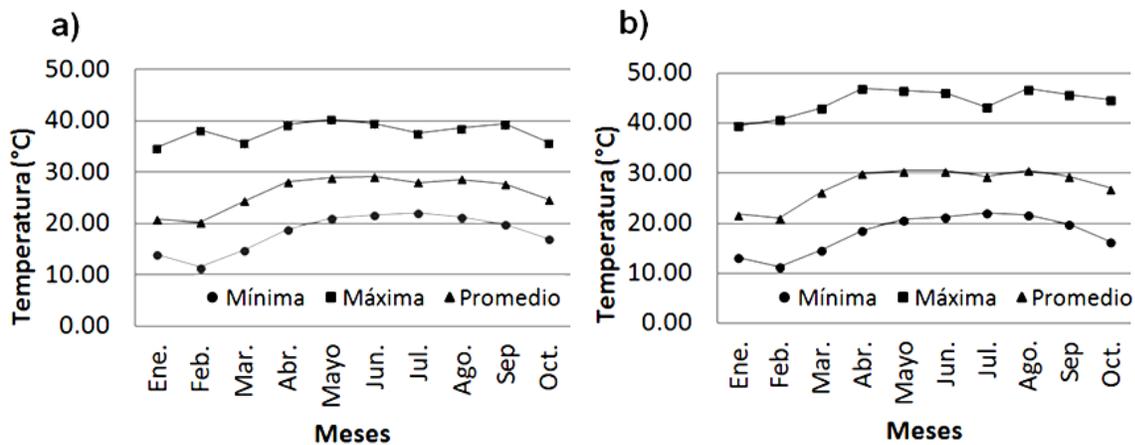


FIGURA 2.2. Variación de la temperatura mínima, máxima y promedio en el periodo de enero a octubre del 2011, en el interior (a) y exterior (b) del invernadero.

2.3.4. Costo beneficio en la producción de plantas

El costo unitario por planta, producida en un vivero certificado varía de acuerdo al nivel de tecnificación y la zona de producción. En el Cuadro 2.22 se presentan los costos por concepto de sustrato, fertilización y deshierbe. La mezcla 1 presenta el menor costo entre los sustratos.

CUADRO 2.22. Comparación de costos en la producción de cítricos con el uso de sustratos, fertilización y suelo agrícola.

Sustrato	Portainjerto	Costos (\$)			Total
		Sustrato ^z	Fertilización ^y	Deshierbe ^w	
Mezcla1	<i>C. volkameriana</i>	1.77	0.029	0	1.80
Mezcla3	<i>C. volkameriana</i>	2.31	0.028	0	2.34
Fibra de coco	<i>C. volkameriana</i>	3.00	0.55	0	3.55
Suelo agrícola	<i>C. volkameriana</i>	0.50	0	0.55	1.05
Mezcla1	Citrumelo Swingle	1.77	0.017	0	1.79
Mezcla3	Citrumelo Swingle	2.31	0.022	0	2.33
Fibra de coco	Citrumelo Swingle	3.00	0.55	0	3.55
Suelo agrícola	Citrumelo Swingle	0.50	0	0.55	1.05

^z Costo total de sustrato en bolsa de 3.5 litros.

^y Costo de la fertilización calculado durante 150 días del experimento.

^w Incluye mano de obra y compra de herbicidas.

2.4. DISCUSIÓN

Los valores de las principales características físicas (Da, Dr, Pt, PAA, PRH) determinadas en los sustratos fibra de coco, tepezil y composta, difieren en algunas características con los óptimos reportados por Abad *et al.*, 1993. Los valores elevados de la curva de retención de agua para el sustrato fibra de coco contrastan con aquellos encontrados por Vargas *et al.* (2008) al caracterizar 6 tipos de fibra de coco, ya que estos valores fueron similares a los reportados como óptimos. La fibra de coco presentó características químicas similares a las reportadas como óptimas; por lo tanto, es factible su uso en la producción de plantas, contrario a lo que ocurre con el tepezil ya que por presentar valores más elevados que los óptimos, no se recomienda su uso individual. Considerando que los valores de las características químicas de la composta se acercan a los óptimos recomendados que. Debido al valor elevado de la CE en la composta, es necesario, previo a su uso, realizar lavados para eliminar el contenido de sales y obtener una CE adecuada que permita el uso de la composta en la actividad viverística. Debido a que la mayoría de las características no se ajustan a los valores óptimos reportados por De Boodt *et al.* (1974) y Abad *et al.* (1993), es importante considerar que los tres sustratos caracterizados se utilicen en mezclas con el fin de

que éstas presenten propiedades físicas y químicas idóneas que favorezcan un desarrollo adecuado de la plantas (Cruz *et al.*, 2010).

En la caracterización del contenido de nutrientes y compuestos químicos de los sustratos, el tepezil y la fibra de coco presentan valores similares considerablemente inferiores a los contenidos en composta, esto significa un menor requerimiento de fertilizantes con el uso de este último, situación probada en el experimento dos.

El desarrollo inadecuado del portainjerto citrumelo Swingle observado a los 88 días después del trasplante, puede atribuirse a la dificultad de adaptación a las condiciones proporcionadas por los sustratos, como el pH elevado (8.7) presentados en el lixiviado, cual no toleran las especies de *Poncirus trifoliata* ni sus híbridos. Estos valores de pH son elevados comparados con los reportados por Boaventura *et al.*, 2004, quienes observaron pH de 4.5 a 5.5 en la solución lixiviada. Otro factor al cual puede atribuirse la inadaptabilidad del portainjerto es la CE de 1.5 a 4.5 dS·m⁻¹ que se presentó en la solución lixiviada de los sustratos ya que estos valores rebasan el intervalo óptimo (1.44 a 2.88 dS m⁻¹) en la fertirrigación de cítricos (Coelho *et al.*, 2004). El comportamiento de inadaptabilidad del portainjerto citrumelo Swingle también fue observado por Pompeu Junior (1991) y Dos Santos *et al.* (1999) quienes compararon su crecimiento con lima Rangpur (*Citrus limonia* Osb.), el cual presenta características de crecimiento y adaptación similares a *C. volkameriana* (Neto *et al.*, 2002).

La cantidad de agua aplicada, no presentó efecto para ninguno de los factores evaluados, tampoco se encontró relación con el crecimiento de la plantas. Esto pudo deberse a la calibración inadecuada del sistema de riego (riego por goteo localizado) que proporcionaba de forma desigual en todos los tratamientos.

En el segundo experimento, la variable diámetro no presentó diferencias respecto a los portainjertos evaluados. Este comportamiento fue observado por Boaventura *et al.* (2004) en los portainjertos lima Rangpur y citrumelo Swingle y corroborado por Mattos Jr. *et al.* (2010) en plantas de lima Rangpur y tangerina Sunki (*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka).

Se observaron diferencias en el crecimiento de los portainjertos evaluadas, reflejadas en las variables altura, peso de biomasa seca y área foliar; estas diferencias se deben a que genéticamente, el tamaño de la hoja de *C. volkameriana* es superior a citrumelo Swingle. Esto también fue observado por Mattos Jr. *et al.* (2010) en portainjertos lima Rangpur y tangerina Sunki que poseen hábitos de crecimiento similares a *C. volkameriana* y citrumelo Swingle respectivamente. Debido a la variación en el tamaño de las hojas, la diferencias en las variable área foliar y peso de biomasa seca no pueden atribuirse al efecto del 'portainjerto' (Fochesato *et al.*, 2006; Mattos Jr. *et al.*, 2010).

La mayor lectura de unidades SPAD, se presentó en el tratamiento 'mezcla 1 x *C. volkameriana*', este dato puede corroborarse con la acumulación mayor de N, ya que al tener una nutrición correcta de N las plantas presentan un verdor intesos reflejado en las mayores lecturas de unidades SPAD. Este comportamiento también puede relacionarse con altura y peso de biomasa seca superior al resto de los tratamientos; la relación lineal de unidades SPAD con la acumulación de N y las variables de crecimiento, fueron similares para lima Rangpur reportado por Prado y Vale (2008), Vale y Prado (2009); este portainjerto presenta un crecimiento y adaptación similar a *C. volkameriana*.

Aun cuando no hay diferencias significativas del efecto de los factores en la concentración de N, el valor más alto ($26.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) fue encontrado en la combinación 'mezcla 1 x citrumelo Swingle', en contraste con el valor más bajo ($12.16 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) en 'fibra de coco x *C. volkameriana*'. La presencia de clorosis en las plantas crecidas en fibra de coco, de acuerdo con Neto *et al.* (2002) pudiera deberse a una deficiencia de nitrógeno, lo cual puede corroborarse con las bajas concentraciones 12.16 y $16.13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de N encontradas en *C. volkameriana* y citrumelo Swingle respectivamente. Es importante mencionar que durante el experimento, la fibra de coco recibió mayor cantidad de fertilizante debido a que la CE que presentaba era menor a $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ regularmente. Sin embargo, durante los últimos 30 días del experimento dejó de fertilizarse, al registrar una CE de $4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, debido probablemente a un exceso de fertilizante. Considerando que los análisis foliares mostraron una deficiencia de N en las

plantas cultivadas en este sustrato, es importante realizar un análisis detallado al sustrato para conocer si existió mayor requerimiento de nitrógeno o este elemento se acumuló en el sustrato hasta dejar de ser asimilable

El requerimiento hídrico está en función de la altura que cada uno de los portainjertos desarrolló, bajo las condiciones que los sustratos proporcionaron. De esta forma aquellas plantas cultivadas en suelo agrícola cuya altura fue similar para ambos portainjertos (71.23 y 71.25 cm), presentaron requerimientos similares de agua (7.72 y 7.51 litros) esta relación se observó en los demás sustratos en los cuales vario el requerimiento agua de acuerdo a la altura.

La CE presento una importante variación entre los portainjertos, la mezcla 1 la cual contiene la mayor cantidad de composta en su composición (40 %) presento los mayores valores de CE, los cuales presentaron en promedio $1.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ durante el experimento, sin embargo el portainjerto *C. volkameriana* se adaptó a esta condición y presento un crecimiento de favorable en (altura, área foliar y peso de biomasa seca).

Las temperaturas que se presentaron durante el experimento tienen un comportamiento estable en la mayoría de los meses, sin embargo es importante recalcar las oscilaciones de las temperaturas máximas dentro del invernadero que se registraron entre los 45 y 50 °C. Con respecto a esto, Schafer *et al.* (2004) y Fochesato *et al.* (2006) aseguran que las oscilaciones de temperatura pueden repercutir en el crecimiento de los portainjertos cítricos, por lo tanto es importante considerar además de los factores evaluados en este estudio, la temperatura y otros factores que pudieran afectar en el desarrollo y producción de plantas cítricas certificadas.

El costo elevado de los sustratos comerciales como fibra de coco y peatmost, es una de las principales problemáticas para su uso ya que el costo del suelo agrícola es inferior al resto de los sustratos, sin embargo el costo unitario de la composta y tepezil son inferiores al de los sustratos comerciales con características optimas o cercanas a los óptimos. Las plantas de *C. volkameriana* presentaron gran adaptabilidad a las condiciones generadas presentadas en la M1 (fibra de coco 35 %, tepezil 25 % y

composta 40 %), quien al contener más composta presenta un costo menor respecto a M2 y fibra de coco.

2.5. CONCLUSIÓN

Considerando los resultados de la caracterización física y química de los sustratos, es importante tomar en cuenta estos aspectos cuando se utilicen sustratos nuevos o en mezclas con el propósito de proporcionar las características adecuadas para el crecimiento de los cultivos considerando también los requerimientos de éstos. La composta de gabazo de cítricos presenta mayor contenido nutrimental en comparación con tepezil y fibra de coco, por lo que un porcentaje mayor en la mezcla representa menor requerimientos de fertilizantes para la planta. El uso de esta composta como un componente en la mezcla de sustratos es factible para la producción del portainjerto *C. volkameriana* y propicia el aprovechamiento de desechos industriales y de cosecha de forma sustentable en la región citrícola del estado de Veracruz y de otras regiones productoras de cítricos en el País. El costo del uso de sustratos es superior al del suelo agrícola, sin embargo, el uso de recursos de desechos como la composta de cítricos, disminuye el costo de la mezcla de sustratos respecto al costo de sustratos comerciales individuales o en mezclas que contienen fibra de coco, peat moss, vermiculita, perlita, entre otros. El portainjerto citrumelo Swingle presenta dificultades para la adaptación a las condiciones generadas con el uso de composta de cítricos. Esto indica que las plantas no responden de la misma manera a los sustratos u otros factores, por lo que es importante considerar la especie o variedad a cultivar ya que cada una demanda diferentes requerimientos de fertilización, agua, temperatura, luz y su susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades. Además de estos requerimientos se deben considerar las condiciones para su establecimiento en campo. En el caso citrumelo Swingle se sugiere buscar otras alternativas de sustratos a fin de reducir el uso del suelo y costos de producción.

2.6. LITERATURA CITADA

- ABAD M.; MARTÍNEZ P. F.; MARTÍNEZ M. D.; MARTÍNEZ J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Horti*. 11:141-154.
- ANSORENA J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- BAPTISTA L., Z.; BIAGGIONI M. A., M.; BARBOSA A., D.; FONTES, J. C.; CICOLIN V. J. B., 2009. Eficiência de fontes de ferro na produção de mudas cítricas em ambiente protegido. Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Botucatu.
- BERNARDI A. C., DE C.; CARMELLO Q. A., DE C.; DE CARVALHO S., A. 2000. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. *Scientia Agrícola* 57(4):733-738.
- BOARETTO A., E.; NETO P., S.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA M., W.; TRIVELIN P. C., O. 1999. Fertilização foliar de nitrogênio para laranjeira em estágio de formação. *Scientia Agrícola* 56(2): 621-626.
- BOAVENTURA P. R., R.; QUAGGIO, J. A.; ABREU M., F.; BATAGLIA O., C. 2004. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. *Rev. Bras. Frutic.* 26 (2): 300-305.
- BURÉS, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 220 p.
- CARVALHO, S. A.; MATTOS JUNIOR, D.; SOUZA, M. 2000. Efeito do KNO₃ nos teores de macronutrientes na matéria seca total de porta-enxertos cítricos produzidos em bandejas. *Bragantia* 59 (1): 89-94.
- COELHO, E., F.; MAGALHÃES, A. DE J., F.; FILHO, M. A., C. 2004. Irrigação e Fertirrigação em Citros. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Cruz das Almas, BRASIL. Embrapa. 15 p.
- CRUZ C., E.; SANDOVAL V., M.; VOLKE H., V.R; ORDAZ C., V.; TIRADO T., J. L.; SÁNCHEZ E., J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28(3): 219-229.
- DE BOODT M.; VERDONCK O.; CAPPAERT I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- DO VALE D., W.; PRADO R., DE M. 2009. Adubação com N, P e K no crescimento inicial do porta-enxerto limoeiro cravo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4(1): 35-41.
- DOS SANTOS C. H.; FILHO H., G.; RODRIGUES J., D.; DE PINHO S., Z. 1999. Níveis de alumínio e acúmulo de macronutrientes em porta-enxertos cítricos em cultivo hidropônico. *Scientia Agrícola* 56(4):1165-1175.

- FOCHESATO, M. L.; DE SOUZA P. V., D.; SCHAFER, G.; SCHMATZ, M. H., 2006. Producao de mudas citricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. *Ciencia Rural* 36(5):1397-1403.
- GASS, S. I. 1969. Programación lineal. Métodos y Aplicaciones. Ed. Continental. México, D.F. 444 p.
- GRUSZYNSKI, C.; KÄMPF, A. N. 2004. Residues of *Aleurites fordii* (euphorbiaceae) as a component for plant substrates. *Acta Hort. (ISHS)* 644:171-176.
- HIDALGO L., P. R.; SINDONI V., M.; MÉNDEZ N., J. R., 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *Revista Científica UDO Agrícola* 9 (2): 282-288.
- LÓPEZ P., L.; CADENAS N., R.; LOBIT P.; MARTINEZ C., O.; ESCALANTE L., O., 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2): 1771-174.
- MATEO S., J. J.; BONIFACIO V., R.; PÉREZ R., S. R.; MOHEDANO C., L.; CAPULÍN G., J. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín Crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7(1): 123-132.
- MATTOS Jr D.; RAMOS U., M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. 2010. Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. *Bragantia* 69(1): 135-147.
- NETO A. DE C.; DE SIQUEIRA D. L.; PEREIRA P. R., G.; ALVAREZ V. H., V. 2002. Crescimento de porta-enxertos de citros em tubetes influenciados por doses de N. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24(01):199-203.
- PASTOR S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *TERRA Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- POMPEU JÚNIOR, J. 1991. Porta-enxertos. In: RODRIGUEZ, O. (Coord.) *Citricultura brasileira*. 2ed. Campinas: Fundação Cargill 1: 265-280.
- PRADO R., DE M.; DO VALE D., W. 2008. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura spad em porta-enxerto de limoeiro cravo. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 38(4): 227-232.
- PRADO R., DE M.; ROZANE, D. E.; CAMAROTTI G., S.; CORREIA M. A., R.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C.; BEUTLER, A. N. 2008. Nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição e na produção de mudas de laranja 'valência', enxertada sobre citrumeleiro 'swingle'. *Rev. Bras. Frutic.* 30(3): 812-817.
- REYES R., J.; ALDRETE, A.; CETINA A., V. M.; LOPEZ U., J. 2005. Produccion de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente* 11(002): 105-110.

- REZENDE C. F., A.; FERNANDES, E. P.; DA SILVA M., F.; LEANDRO W., M. 2010. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. *Biosciencie Journal* 26(3):367-375.
- ROZANE, D. E.; PRADO, DE M. R.; BEUTLER, A. N.; NATALE, W.; DA SILVA, S. R.; BARBOSA, J. C. 2007. Nitrogeno, fosforo e potasio afetando nitricao e producao de porta-enxerto de limoneiro Citrumelo Swingle. *Revista Ceres* 54(315): 422-429.
- ROZANE, D. E.; PRADO R., DE M.; NATALE, W.; BEUTLER A., N.; DA SILVA S., R.; BARBOSA, J. C. 2009. Efeito das doses de nitrogênio, fósforo e potássio na nutrição e na produção do porta-enxerto de limoeiro cravo. *Acta Scientiarum Agronomy* 31(2): 255-260.
- SCHÄFER, G.; DE SOUZA P. V., D.; KOLLER, O. C.; SCHWARZ, S. F. 2006. Desarrollo vegetativo de patrones cítricos cultivados en condiciones de invernadero bajo dos sistemas de riego. *Rev. Bras. Frutic.* 28(2):227-230.
- VARGAS, T. P.; CASTELLANOS, R. J. Z.; SÁNCHEZ, G. P.; TIJERINA, C. L.; LÓPEZ, R. R. MA.; OJO DE AGUA, A. J. L., 2008 Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4):375-381.
- ZAMORA M., B. P.; SÁNCHEZ G., P.; VOLKE H., V. H. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. *Interciencia* 30(6):69-81.
- ZANETTI, M.; FERNANDES, C.; CAZETTA, J. O.; CORÁ, J. E.; MATTOS JR, D. 2003. Características físicas de sustratos para a produção de mudas cítricas sob telado. *Solos e Nutrição* 24(2): 519-530.

CONCLUSIONES GENERALES

La producción de plantas cítricas certificadas es un seguro para generar plantas libres de patógenos que salvaguarden la citricultura del país, de la cual gran parte de la población depende económicamente. Por lo que todos los factores que intervienen en su producción son objeto de estudio que deben considerarse para generar información oportuna y de vanguardia.

Las investigaciones deben ser básicas o aplicadas y proporcionar avances tecnológicos, para el progreso y renovación de los sistemas de producción apegados a las normas fitosanitarias vigentes. Estas investigaciones deben tener como objetivos favorecer el uso sustentable de recursos, minimizar el ciclo de producción, reducir costos de producción, proporcionar a las plantas condiciones ideales para el óptimo crecimiento, aislamiento y prevención de plagas y enfermedades de cualquier tipo.

Dentro de los temas sugeridos a investigar, la nutrición y riego principalmente, manejo de temperatura, fotoperiodo, intensidad luminosa con sombreo, selección de variedades, mejoramiento genético y empleo de cultivo de tejidos a fin de tener homogeneidad en las plantas producidas.

Con base en encuestas aplicadas a integrantes de la cadena productiva de cítricos relacionados con la producción de plantas cítricas, se determinó que el uso de sustratos y fertirrigación son factores fácilmente modificables, que pueden tener gran impacto en el ciclo de cultivo de las plantas cítricas. Por ejemplo el uso de sustratos es uno de los factores que promueve la homogeneidad de las plantas y evita el traslado de suelo de una zona a otra, reduciendo riesgos fitosanitarios. Además, se sugiere utilizar materiales de desechos industriales o de cosecha de fácil acceso con el objetivo de minimizar los costos de producción y reducir el impacto ambiental negativo en los sistemas de cultivo debido a la extracción del suelo sin normas de control.

El uso de sustratos generados en zonas cercanas a la de producción proporciona ahorros económicos comparados con el uso de sustratos comerciales. La adaptación de *C. volkameriana* a las condiciones proporcionadas por la mezcla de composta de bagazo de cítricos 40 %, tepezil 25 % y fibra de coco 35 % son una opción a considerar

en la producción comercial de plantas cítricas. Aunque su costo es superior al del suelo agrícola, es menor al de sustratos comerciales como fibra de coco y peatmost usados para este tipo de producción. Para el portainjerto citrumelo Swingle es necesario generar más información y experimentar otros sustratos con CE y pH menores a los encontrados en esta investigación.

La fertirrigación es fundamental en el uso de sustratos. Para implementar su uso es necesario realizar pruebas en pequeñas proporciones del vivero ya que su uso requiere conocer el manejo de soluciones nutritivas. El uso adecuado de la fertirrigación genera un crecimiento rápido de las plantas; en caso contrario, un uso desbalanceado y sin conocimientos puede ocasionar pérdidas económicas al generar excesos o deficiencias de macros y microelementos que repercuten en el desarrollo de las plantas. Otro aspecto importante a considerar en su uso son los requerimientos de cada portainjerto; por lo que es fundamental analizar y realizar pruebas para cada uno de ellos, pudiéndose considerar como punto de partida los requerimientos de aquellos portainjertos con características genéticas similares.

Con todo lo anterior, es posible generar el uso sustentable de los recursos naturales, para asegurar su permanencia. Si bien ahora se da prioridad a economizar gastos con el uso de materiales baratos (suelo agrícola), las tendencias de producción ecoeficientes generarán la inquietud de probar técnicas que permitan producir bajo estos términos. De esta forma el uso de composta de bagazo de cítricos en mezclas de sustratos es factible para la producción de plantas cítricas, al ser un recurso sustentable generado de los desechos de producción de otro proceso.

Finalmente, esta investigación es una de las primeras en su género que se realiza en México para la producción de plantas cítricas en ambiente protegido basándose en las necesidades y opiniones de los que integran algunos eslabones de la cadena citrícola. Indudablemente que los resultados presentados serán la base de otras investigaciones esperando que en un futuro ayuden a contribuir al desarrollo de la producción de plantas cítricas certificadas y consecuentemente de la citricultura regional y nacional.



ANEXO A

A1. Cuestionario investigadores nacionales

COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS VERACRUZ

Programa de Postgrado Agroecosistemas Tropicales

El propósito de este cuestionario es obtener información para conocer el potencial del uso de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas. Dicha información se utilizará con fines de investigación en el Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

INVESTIGADORES NACIONALES

Nombre: _____

Grado académico: _____

Institución que otorgo el grado: _____

Institución donde labora: _____

Tipo de investigación que realiza:

1. ¿Conoce la normatividad para producir plantas cítricas certificadas en México?

a) Si b) No

b) Conoce las ventajas de utilizar sustratos en la producción de plantas cítricas:

a) Si b) No

1. ¿Cuál de las siguientes opciones considera que es la razón principal por la que no todos los viveristas utilizan sustratos en su producción:

a) Altos costos de producción e inversión b) Falta de conocimiento c)

Otras _____

2. Si tiene alguna experiencia sobre el uso de sustratos en general, sugiera un sustrato o mezcla de ellos que debería considerarse para realizar investigación en plantas cítricas:

3. ¿Qué ventajas encuentra en el uso del sustrato(s) sugerido (s)?

4. ¿Considera importante el uso de la fertirrigación en la producción de plantas cítricas?
¿Porque?

5. ¿Qué factores considera importantes para reducir el ciclo de producción de plantas cítricas?

6. Enumere (del 1 al 4) las siguientes problemáticas en la producción de plantas cítricas de acuerdo al orden de importancia que usted considere:

- () Larga duración del ciclo de producción.
- () Falta de investigación en los factores de producción uso de sustratos y fertilización.
- () Falta de conocimientos de los citricultores en el uso de plantas.
- () Otras: _____

Agradezco su opinión y le invito a compartir comentarios adicionales respecto al tema:



A2. Cuestionario investigadores internacionales

COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS VERACRUZ

Programa de Postgrado Agroecosistemas Tropicales

El propósito de este cuestionario es obtener información para conocer el potencial del uso de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas. Dicha información se utilizará con fines de investigación en el Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

INVESTIGADORES INTERNACIONALES

Nombre: _____

País de procedencia: _____

Grado académico: _____

Institución que otorgo el grado: _____

Tipo de investigación que realiza:

Institución donde labora:

1. ¿Conoce la normatividad para producir plantas cítricas certificadas en su país?
a) Si b) No
2. Indique de acuerdo a sus conocimientos que porcentaje de viveros utilizan sustratos en la producción de plantas cítricas en su país:

3. Conoce las ventajas de utilizar sustratos en la producción de plantas cítricas:
a) Si b) No
4. ¿Cuál considera que es la razón principal por la que no todos los viveristas utilizan sustratos en su producción?

5. Si tiene alguna experiencia sobre el uso de sustratos en general, sugiera un sustrato o mezcla de ellos que debería considerarse para realizar investigación en plantas cítricas:

6. ¿Qué ventajas e encuentra en el uso del sustrato(s) sugerido (s)?

7. ¿Considera importante el uso de la fertirrigación en la producción de plantas cítricas?
¿Porque?

8. Enumere (del 1 al 4) las siguientes problemáticas en la producción de plantas cítricas de acuerdo al orden de importancia que usted considere:

- () Larga duración del ciclo de producción.
- () Falta de investigación en los factores de producción uso de sustratos y fertilización.
- () Falta de conocimientos de los citricultores en el uso de plantas.
- () Otras: _____

Agradezco su opinión y le invito a compartir comentarios adicionales respecto al tema:



A3. Cuestionario viveristas
COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS VERACRUZ

Programa de Postgrado Agroecosistemas Tropicales

El propósito de este cuestionario es obtener información para conocer el potencial del uso de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas. Dicha información se utilizará con fines de investigación en el Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

VIVERISTAS NACIONALES

Nombre: _____

Nombre del vivero: _____

Ubicación del vivero (Lugar y dirección): _____

1. ¿Cuánto tiempo tiene realizando actividades relacionadas con la producción de plantas cítricas?

2. ¿Cuál es la función que desempeña en el vivero?

3. ¿Qué tipo de viverismo practica?
a) Certificado b) Tradicional
4. ¿El vivero está en medio protegido?
a) Si b) No
5. ¿Qué área de producción (m²) tiene el vivero?

6. ¿Qué volumen de producción tiene el vivero anualmente (no. de plantas/año)?

7. ¿Cuáles son las especies de portainjertos de mayor demanda al vivero?

8. ¿Cuáles son los injertos de mayor demanda al vivero?

9. ¿Cuánto dura el ciclo de producción en su vivero?

10. ¿Qué tipo de germinación utiliza?
a) Pre-germinado b) Almácigo c) Tubetes d) Directo a bolsa
e) Otro: _____
11. Indique el tiempo de las siguientes etapas del ciclo productivo en su vivero:
Pre-germinado: _____
Desarrollo de la plántula (Tubetes o almácigo): _____
Desarrollo del portainjerto (de trasplante a injerto): _____
Desarrollo del injerto: _____
12. ¿Qué tipo de material utiliza como soporte en las plantas?
a) Al piso b) Tierra agrícola c) Mezcla de tierra agrícola y sustrato
d) Sustratos e) Mezcla de sustratos.



A4. Cuestionario productores

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

CAMPUS VERACRUZ

Programa de Postgrado Agroecosistemas Tropicales

El propósito de este cuestionario es obtener información para conocer el potencial del uso de sustratos y fertirrigación en la producción de plantas cítricas. Dicha información se utilizará con fines de investigación en el Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

PRODUCTORES DE CÍTRICOS

Nombre: _____

Lugar donde se localiza su parcela de cítricos (Estado, Municipio y Localidad): _____

1. ¿Qué superficie tiene su parcela de cítricos?

2. Indique que superficies tiene sembradas por patrones de cítricos y que injertos tienen:

3. ¿Qué variedad de portainjerto o patrón de cítricos prefiere y por qué?

4. ¿Qué características le gustaría que tuvieran las plantas al comprarlas?

5. ¿Considera importante conocer el proceso sanitario de la producción de plantas cítricas?
a) Si b) No _____
Por qué _____
6. Conoce las ventajas de comprar plantas producidas en medios protegidos (invernadero):
a) Si b) No _____
7. ¿Conoce la diferencia entre suelo (tierra agrícola) y sustratos?
a) Si b) No _____
8. Considera que es importante conocer el tipo de material o sustrato donde se produjo la planta comprada?:
a) Si b) No _____
¿Por qué?: _____
9. Conoce el manejo que deben tener las plantas producidas en sustratos al momento de la siembra?:
a) Si b) No _____
Si su respuesta fue afirmativa, describa brevemente este manejo:

