



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS GRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PORTAINJERTOS
CÍTRICOS, EN TUBETES CON DIFERENTES SUSTRATOS
Y SOLUCIONES NUTRITIVAS**

MARIA DE LOS ANGELES MALDONADO PERALTA

T E S I S

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: **"DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PORTAINJERTOS CÍTRICOS, EN TUBETES CON DIFERENTES SUSTRATOS Y SOLUCIONES NUTRITIVAS"** realizada por la alumna María de los Ángeles Maldonado Peralta, 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

EDAFOLOGÍA

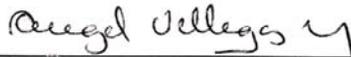
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



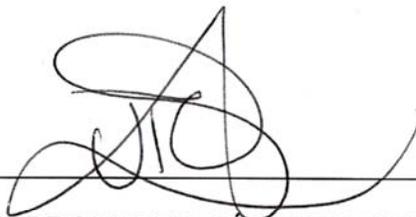
DR. VICTOR HUGO VOLKE HALLER

ASESOR:



DR. ÁNGEL VILLEGAS MONTER

ASESOR:



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

RESUMEN

DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PORTAINJERTOS CÍTRICOS, EN TUBETES CON DIFERENTES SUSTRATOS Y SOLUCIONES NUTRITIVAS

María de los Ángeles Maldonado Peralta, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

En México, por Norma, a partir de 2010 la producción de portainjertos cítricos se tendrá que llevar a cabo en lugares protegidos, debido a la presencia de Huanglongbing (HLB), lo que trae como consecuencia cambios en la producción de plantas en vivero, que involucran el uso de contenedores, soluciones nutritivas, manejo, semilla certificada y sustratos pasteurizados. Con base en lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo: Estudiar la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos, en tubetes con diferentes sustratos y soluciones nutritivas, para disminuir el tiempo de trasplante y el momento para injertar. El trabajo se realizó en el Vivero Cazones, Cazones, Ver. La siembra se hizo en tubetes cónicos negros de 180 mL. En el primer experimento se utilizaron semillas con y sin testa de los portainjertos; mandarinos Cleopatra (*Citrus reshni*) y Amblicarpa (*C. amblycarpa*) y limón Volkameriano (*C. volkameriana*), y tres sustratos; turba, Germinaza® y Agromix®. El diseño experimental fue un factorial 3 x 3 con 4 repeticiones. En el segundo experimento, se utilizaron cuatro portainjertos: citrumelo Swingle (*C. paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata*) más los tres anteriores y 8 mezclas (Germinaza® y turba, con vermiculita y tepojal, en diversas proporciones), Germinaza® y turba como testigos. El diseño experimental fue en bloques al azar con 4 repeticiones. En el tercer experimento, se evaluaron cuatro portainjertos en los sustratos del experimento II, excepto Germinaza®, y tres soluciones nutritivas (solución Steiner al 25 y 50% y una solución formulada por el viverista). El diseño experimental fue en bloques al azar con 3 repeticiones de 10 plantas. Se evaluó germinación, poliembrionía y respuesta a las soluciones nutritivas. En el primer experimento, el mejor porcentaje de germinación fue en limón Volkameriano (90.8 %), sustrato Germinaza® (76.3 %) y semillas con testa (78.6 %), en la interacción, éste portainjerto presentó igual germinación en los tres sustratos y en semillas con y sin testa. En turba germinaron primero las semillas sin testa, iniciando la germinación de 6 a 7 días antes que las semillas con testa. En el segundo experimento, mandarino Amblicarpa presentó mayor germinación (73.0 %) y poliembrionía (48.7 %), el sustrato turba-tepojal (80-20%, vol.) fue mejor (62.1 %). En la interacción, el mejor portainjerto fue mandarino Cleopatra (80.8 %) en turba. En el tercer experimento, citrumelo Swingle presentó mayores valores en la mayoría de las variables evaluadas, mandarino Amblicarpa en número de hojas y limón Volkameriano en área foliar, el sustrato turba-tepojal (60-40%, vol.) presentó mejor comportamiento en la mayoría de las variables observadas; y, en longitud de raíz no hubo diferencias entre soluciones nutritivas. En las concentraciones nutrimentales se encontró N, P, K y B en exceso, en Ca, Mg, S y Cl de bajos a deficientes y óptimos ó cercanos a estos Fe, Mn y Zn.

Palabras clave: portainjertos cítricos, semillas, sustratos, solución nutritiva.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF CITRUS ROOTSTOCK SEEDLINGS IN CONTAINERS WITH DIFFERENT SUBSTRATES AND NUTRIENT SOLUTIONS

María de los Ángeles Maldonado Peralta, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

In Mexico, for Norma, from 2010 the production of citrus rootstocks will be carried out in protected places, due to the presence of Huanglongbing (HLB), which results in changes in the production of nursery plants, which involve the use of containers, nutrient solutions, management, certified seed and pasteurized substrates. Based on the above, this research aimed to: study the seed germination and seedling development of citrus rootstocks in tubetes with different substrates and nutrient solutions to decrease the time of transplant and time to graft. The study was conducted in the Nursery Cazonas Cazonas Ver. The planting was done in conical black containers 180 mL. In the first experiment with and without tegument seeds of rootstocks, Cleopatra mandarin (*Citrus reshni*) and Amblicarpa (*C. amblycarpa*) and Volkamerian lemon (*C. volkameriana*) and three substrates peat Germinaza® and Agromix®. The experimental design was a factorial 3 x 3 with 4 replications. In the second experiment, we used four rootstocks: citrumelo Swingle (*C. paradisi* Macf. x *Poncirus trifoliata*) over the previous three and 8 mixtures (Germinaza® and peat, vermiculite and tepojal in various proportions), and peat Germinaza® witnesses. The experimental design was randomized blocks with 4 replications. In the third experiment, we evaluated four rootstocks in the substrates of the experiment II, except Germinaza®, and three nutrient solutions (Steiner solution to 25 and 50% and a settlement made by the nursery). The experimental design was randomized block with 3 replications of 10 plants. We evaluated germination and response polyembryony nutrient solutions. In the first experiment, the germination percentage was best in Volkamerian lemon (90.8%), substrate Germinaza® (76.3%) and seed coat (78.6%) in the interaction, this rootstock showed the same germination in the three substrates and seeds with and without testa. Peat first germinated seeds without testa, initiating the germination of 6 to 7 days before the seed coat. In the second experiment, Amblicarpa mandarin showed higher germination (73.0%) and polyembryony (48.7%), substrate peat-tepojal (80-20% vol.) was better (62.1%). In the interaction, was the best rootstock Cleopatra mandarin (80.8%) in peat. In the third experiment, Swingle citrumelo showed higher values in most variables, Amblicarpa mandarin in number of leaves and Volkamerian lemon leaf area, the peat-tepojal substrate (60-40% vol.) Showed better performance in most of the observed variables and, in root length was not different between nutrient solutions. Nutrient concentrations found N, P, K and B in excess, Ca, Mg, S and Cl to poor and low optimum or close to these Fe, Mn and Zn.

Key words: citrus rootstocks, seeds, substrate, nutrient solution.

DEDICATORIA

Con amor a Dios:

*por permitirme concluir ésta etapa
de mi vida y por guiarme siempre hacia el bien.*

Con amor a mis padres:

*Georgina y Policarpo por la vida, su ejemplo,
su confianza y amor. Porque aunque lejos siempre están a mi lado.*

Con cariño a mis hermanos:

Ramiro, Zenaida y Noé, por ser más que hermanos amigos.

“Porque los triunfos nacen cuando nos atrevemos a comenzar.

Piensa, cree, sueña y atrévete.....”

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido alcanzar ésta meta. Porque cuando la situación me afligía, sin darme cuenta estaba disfrazada de nuevas oportunidades.

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología y al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de terminar este objetivo.

Al Dr. Angel Villegas Monter, por brindarme su confianza, su apoyo y amistad y por confiar en mí, para la realización de éste trabajo.

Al Dr. Víctor Hugo Volke Haller, por su apoyo incondicional y su perseverancia para concluir satisfactoriamente mi tesis.

Al Dr. Prometeo Sánchez García por su apoyo y amistad.

Al MC. Luis Alberto Montes Gutiérrez, por su apoyo incondicional, su amistad y por brindarme su apoyo desde antes de proponerme este objetivo.

Al vivero Cazones y su personal, así como a la familia Villegas-Monter, por apoyarme para la realización de este trabajo.

Al personal del Postgrado de Edafología, del laboratorio de nutrición vegetal, a la Sra. Araceli, Jaqueline y Carmen por brindarme su apoyo y amistad y al de la biblioteca.

Al personal del laboratorio (in *vitro*) de Fruticultura, a Nelly y Ema; por apoyarme y brindarme su amistad.

A todos aquellos que participaron directa o indirectamente para terminar este trabajo.

Gracias.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	<i>iii</i>
ABSTRACT	<i>iv</i>
DEDICATORIA	<i>v</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>vi</i>
CONTENIDO	<i>vii</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>x</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>xii</i>
ÍNDICE DE APÉNDICE	<i>xiii</i>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
2.2 Hipótesis general	3
2.2.1 Hipótesis específicas	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Portainjertos	5
3.2 Semillas	7
3.3 Sustratos	10
3.4 Nutrición	13
3.5 Uso de contenedores	15
3.6 Producción en ambientes protegidos	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS	18
4.1 Localización	18
4.2 Extracción de semillas de portainjertos cítricos	18

4.3	Instalación de las estructuras de malla metálica dentro del Invernadero	19
4.4	Tubetes	20
4.5	Experimento I	20
4.5.1	Sustratos	20
4.5.2	Semillas	22
4.5.3	Diseño de tratamientos y experimental	22
4.5.4	Establecimiento del experimento	23
4.5.5	Variables evaluadas	24
4.6	Experimento II	24
4.6.1	Sustratos	24
4.6.2	Semillas	26
4.6.3	Diseño de tratamientos y experimental	27
4.6.4	Establecimiento del experimento	27
4.6.5	Variables evaluadas	29
4.7	Experimento III	29
4.7.1	Sustratos	29
4.7.2	Portainjertos	30
4.7.3	Soluciones nutritivas	30
4.7.4	Diseño de tratamientos y experimental	31
4.7.5	Establecimiento y manejo del experimento	31
4.7.6	Variables evaluadas	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1	Experimento I	33
5.1.1	Propiedades físico-químicas de los sustratos y retención de agua	33
5.1.2	Porcentaje de germinación	36
5.1.3	Tiempo de germinación	40
5.1.4	Conclusiones	43

5.2	Experimento II	44
5.2.1	Determinación de propiedades físico-químicas y retención de agua	44
5.2.2	Porcentaje de germinación	50
5.2.3	Poliembrionía	53
5.2.4	Conclusiones	55
5.3	Experimento III	55
5.3.1	Propiedades químicas de sustratos	55
5.3.2	Respuesta a portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas	57
5.3.3	Portainjertos	57
5.3.4	Sustratos	59
5.3.5	Soluciones nutritivas	62
5.3.6	Concentraciones nutrimentales en parte aérea	64
5.3.7	Conclusiones	67
6.	LITERATURA CITADA	68
7.	APÉNDICE	75

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Promedio de semillas por fruto de los portainjertos cítricos cosechados en el vivero Cazones.	19
Cuadro 2. Sustratos y sus diferentes proporciones de materiales, usados para la germinación de los portainjertos cítricos.	26
Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en la solución Steiner al 50 % y la del viverista.	30
Cuadro 4. Propiedades físico-químicas de los sustratos.	34
Cuadro 5. Retención de agua y porosidad de los sustratos.	35
Cuadro 6. Agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible.	36
Cuadro 7. Porcentaje de germinación por portainjerto, sustrato y tratamiento a la semilla.	37
Cuadro 8. Porcentaje de germinación de tres portainjertos cítricos en tres sustratos y dos tratamientos a la semilla.	39
Cuadro 9. Tiempo promedio de germinación de tres portainjertos, con dos tratamientos a la semilla, sembradas en tres sustratos.	41
Cuadro 10. Días para la germinación de la primera semilla para los portainjertos cítricos.	42
Cuadro 11. Propiedades físico-químicas de los sustratos.	45
Cuadro 12. Retención de agua y porosidad de los sustratos.	46
Cuadro 13. Agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible de los sustratos.	49
Cuadro 14. Porcentaje de germinación por portainjerto y sustrato.	50

Cuadro 15.	Porcentaje de germinación en cuatro portainjertos en 10 sustratos.	52
Cuadro 16.	Porcentaje de semillas poliembriónicas en los portainjertos cítricos.	53
Cuadro 17.	Valor inicial y final de pH y conductividad eléctrica de los sustratos.	56
Cuadro 18.	Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por portainjertos.	58
Cuadro 19.	Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por sustratos.	61
Cuadro 20.	Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por solución nutritiva.	63
Cuadro 21.	Concentración nutrimental en parte aérea de portainjertos cítricos; para portainjerto, sustrato y solución nutritiva.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Establecimiento del experimento I en el invernadero, para la germinación de semillas de los portainjertos cítricos, con dos tratamientos de semillas en los tres sustratos.	23
Figura 2. Estructura para cernir el tepojal, en las mezclas de sustratos utilizados para la siembra de semillas de portainjertos cítricos.	27
Figura 3. Preparación de la mezcla de turba-vermiculita (a) y aplicación de agua al sustrato (b).	28
Figura 4. Curva de retención de agua para los sustratos.	35
Figura 5. Curva de retención de agua de tres sustratos.	47
Figura 6. Curva de retención de agua de tres sustratos.	47
Figura 7. Curva de retención de agua de dos sustratos.	48
Figura 8. Curva de retención de agua de dos sustratos.	48
Figura 9. Porcentaje de poliembrionía en los portainjertos cítricos.	54

ÍNDICE DE APÉNDICE

CUADROS		Página
Cuadro 1-A.	Distribución de los tratamientos del experimento I, en un diseño experimental completamente al azar (el primer número de la columna indica el portainjerto, el segundo el tratamiento de la semilla con y sin testa, y el tercero el sustrato).	75
Cuadro 2-A.	Tratamientos de los 10 sustratos en un diseño experimental en bloques al azar, para el portainjerto citrumelo Swingle.	76
Cuadro 3-A.	Tratamientos de las tres soluciones nutritivas, en un diseño experimental en bloques completos al azar, para el portainjerto citrumelo Swingle, sembrado en Germinaza®- vermiculita (80-20%, vol.).	76
Cuadro 4-A.	Análisis de varianza de un modelo completamente al azar, para el porcentaje de germinación de portainjertos cítricos (experimento I).	77
Cuadro 5-A.	Análisis de varianza para el promedio del tiempo de germinación de las semillas (experimento I).	77
Cuadro 6-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para porcentaje de germinación de portainjertos cítricos, en las diferentes mezclas de sustratos utilizados (experimento II).	78
Cuadro 7-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable longitud de tallo (experimento III).	78
Cuadro 8-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable longitud de raíz (experimento III).	78
Cuadro 9-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el número de hojas (experimento III).	79

Cuadro 10-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable área foliar (experimento III).	79
Cuadro 11-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia fresca de hoja (experimento III).	79
Cuadro 12-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia fresca de tallo (experimento III).	80
Cuadro 13-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para peso de materia fresca de raíz (experimento III).	80
Cuadro 14-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de hoja (experimento III).	80
Cuadro 15-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de tallo (experimento III).	81
Cuadro 16-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de raíz (experimento III).	81
Cuadro 17-A.	Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el diámetro del cuello (experimento III).	81
Cuadro 18-A.	Niveles para deficiencia, óptimo y exceso de elementos para el contenido nutrimental en parte aérea de cítricos, según Embleton <i>et al.</i> (1967).	82

FIGURA

Figura 1-A.	Extracción de las plantas del tubete y separación de las raíces del sustrato.	82
-------------	---	----

1. INTRODUCCIÓN

La evolución de la citricultura ha estado relacionada con la incidencia de enfermedades y el uso de portainjertos. Así en 1842, en las Islas Azores ante la presencia de *Phytophthora* spp., después de evaluar diversos portainjertos, el preferido fue naranjo Agrio (*Citrus aurantium* L.) debido a su tolerancia a la enfermedad, además de prosperar en diversos tipos de suelos, inducir productividad y características de calidad en frutos de las plantas injertadas. En 1904, cuando se descubrió que árboles de naranjo (*C. sinensis*) injertados en Agrio morían debido al virus de la tristeza de los cítricos (VTC), se originó un nuevo cambio en la citricultura y el naranjo Agrio fue sustituido por: mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort., ex Tanaka), citrange Carrizo y Troyero (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *C. sinensis* (L.) Obs.), *P. trifoliata*, limón Volkameriano (*C. volkameriana* Ten. & Pasq.), y Rugoso (*C. jambhiri*), entre otros portainjertos tolerantes a VTC.

Entre 1950 y 1966, árboles de naranjo y mandarino injertados en portainjertos tolerantes a VTC, empezaron a morir y se descubrió que era debido a la obstrucción de vasos del xilema ocasionado por un factor desconocido, que causó la muerte de miles de árboles en Brasil, Estados Unidos de América (California), Argentina, Uruguay, etc; a éste patógeno se le denominó blight, y las plantas susceptibles son las injertadas en limón Rugoso y Volkameriano, *P. trifoliata* y lima Rangpur, las que han mostrado tolerancia son las injertadas en mandarino Sunky, y lentamente desarrollan los síntomas naranjo Agrio y mandarino Cleopatra.

Otras enfermedades causadas por virus (psorosis) o viroides (exocortis y xiloporosis) también requieren del uso de portainjertos tolerantes. El grupo más reciente de enfermedades que atacan a los cítricos son las causadas por bacterias, como: clorosis variegada de los cítricos (CVC), cancro y huanglongbing (HLB), destacando esta última por estar presente en México (detectada en Yucatán en 2009). Otra enfermedad importante es la leprosis (*Brevipalpus* spp.) de los cítricos, causada por un virus y detectada en Chiapas en 2004. Estas dos enfermedades han

impulsado un cambio importante en la propagación de cítricos en México, donde por norma y debido al programa de reconversión citrícola, que promueve el uso de portainjertos tolerantes, el empleo de yemas certificadas libres de virus y viroides, la producción de plantas a partir de 2010 se tendrá que llevar a cabo en espacios protegidos con malla antiáfidos; por lo anterior, será necesario la utilización de sustratos inertes en contenedores sin contacto con el suelo, para la obtención de plantas primero en semillero y posteriormente en vivero.

La utilización de sustratos ha modificado el manejo de las plantas en los viveros, debido a que su selección en la mayoría de los casos tiene una influencia directa sobre la calidad de los productos, y para valorarla no basta con conocer las propiedades generales de sus principales componentes, sino que es necesario determinarlas, ya que éstas varían en gran medida en función del origen de los materiales, condiciones de extracción, granulometría, aireación, acidez y contenido de nutrimentos, entre otras propiedades.

Tradicionalmente, la producción de plantas de cítricos en México se ha dado a partir de material genético de origen desconocido y la selección de semillas y yemas se da de manera empírica de árboles que se muestran vigorosos, productivos, tolerantes a plagas y que no requieren un paquete tecnológico específico para su propagación, establecimiento y manejo. Esto, además de correr el riesgo de acarrear problemas genéticos, favorece la dispersión de enfermedades.

En esta investigación se estudió la germinación de semillas con diferentes tratamientos y el desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos en tubetes de 180 mL, con sustratos inertes para evitar el contacto con el suelo, se aplicaron distintas fertilizaciones para obtener un rápido desarrollo de las plántulas y así estar aptas para pasar a bolsa e injertar en el menor tiempo posible; a la vez se estudiaron las concentraciones nutrimentales de la parte aérea de las plantas, con fines de conocer su estado nutrimental.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Estudiar la germinación de semillas con diferentes tratamientos y el desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos, en tubetes con diferentes sustratos y soluciones nutritivas, para disminuir el tiempo de trasplante y el momento para injertar.

2.1.1 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la eliminación de la testa en la velocidad de germinación de las semillas de portainjertos cítricos.

Evaluar el efecto de diferentes mezclas de sustratos en la germinación de semillas de portainjertos cítricos.

Evaluar el efecto de la aplicación de la solución nutritiva Steiner en dos concentraciones y una solución nutritiva formulada por el viverista, sobre el desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos.

Determinar el estado nutrimental en parte aérea de plántulas de portainjertos cítricos en relación con los sustratos usados y la fertilización aplicada.

2.2 Hipótesis general

El tiempo para trasplante e injertación en las plántulas de portainjertos cítricos se reducirá en respuesta a los diferentes tratamientos a la semilla, sustratos usados y soluciones nutritivas aplicadas.

2.2.1 Hipótesis específicas

El tiempo de germinación de las semillas de portainjertos cítricos se reducirá en función de la eliminación de la testa.

El sustrato afecta la germinación de las semillas de portainjertos cítricos.

La solución nutritiva Steiner, por ser completa, permitirá el desarrollo de mejores plántulas de portainjertos cítricos que la solución nutritiva que utilizan los viveristas.

La fertilización de las plántulas de portainjertos cítricos con la solución Steiner, por ser completa, proporcionará niveles nutrimentales y calidad de planta óptimos, en comparación con la fertilización del viverista.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Portainjertos

La evolución de los portainjertos cítricos a nivel mundial está ligada a la aparición de enfermedades; así, durante la segunda mitad del siglo XIX la aparición de una grave enfermedad en la citricultura, la gomosis (*Phitophthora* spp.), afectó gravemente a las plantas procedentes de estacas de cidro o limonero, a las plantas francas de naranjo dulce y a las que utilizaban éstas como portainjerto, la que se consiguió controlarla con la sustitución de los viejos portainjertos por el naranjo Agrio, y con la implantación de éste como patrón se inicia un importante periodo de expansión del cultivo hasta 1956. En los siguientes años, muchos árboles empezaron a demostrar síntomas de decaimiento, fenómeno que ya se conocía como virus de la tristeza, que en la comarca de la Ribera Alta (Valencia) se difundió con relativa rapidez, bien por la existencia de focos iniciales repartidos por otras localidades, bien por la actividad de los pulgones sobre el nuevo material vegetal que brotaba con gran vigor tras las heladas. En México, debido a éstos problemas fitosanitarios y ambientales, se optó por hacer una nueva selección de portainjertos y técnicas de cultivo, impuestos en ambos casos por la casi desaparición del cultivo; los citranges Troyer, Carrizo, (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *Citrus sinensis* (L.) Obs.), junto con mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort., ex Tanaka), fueron los portainjertos más ampliamente difundidos y los que, todavía hoy en día, predominan en la citricultura mexicana; en 1966 se inició un plan de mejora sanitaria, reglamentado en 1968, con la importación certificada de yemas selectas de distintos cultivares y con la selección de material autóctono libre de virus (Agustí, 2003).

A nivel mundial es importante destacar el cambio que se ha dado en el uso de portainjertos tolerantes a VTC. El 57 % del total de la planta producida en viveros se encuentra sobre portainjertos tolerantes; de estos, *Citrus Volkameriana* representa el 67 %, Citrange Carrizo el 12 %, Citrange Troyer 4 %, Citrumelo Swingle 9 % y otros el 10 % restante. En México, este cambio es muy probable que se esté dando por la

constante divulgación dentro de campañas, así como del Programa Nacional de Reconversión Productiva de la Cadena Citrícola, y donde el primer lugar lo ocupa el naranjo Agrio, portainjerto susceptible a VTC, con más de 85 %, el 10 % *Citrus macrophylla*, y a pie franco 1 % (SAGARPA, 2006). Del total de la producción sobre naranjo Agrio (cucho), Veracruz produce el 62 %, Morelos 18 %, Nuevo León 9 % y 11 % el resto de los estados citrícolas; cabe mencionar, que prácticamente el total de la producción de planta de Morelos es originaria de Veracruz, ya que los viveristas de Veracruz la producen e injertan y los de Morelos solamente le dan las condiciones para su desarrollo (Sánchez *et al.*, 2005).

El uso de plantas injertadas es de suma importancia debido a las ventajas que éstas han demostrado, ya sea por causa de plagas, enfermedades, rendimiento, calidad del producto, etc., resultando ser el injerto un complemento de la planta y que en muchos casos ayuda a evitar la susceptibilidad de agentes fitopatógenos que se encuentran en el ambiente.

La evolución de la búsqueda de nuevos portainjertos se ha dado a causa de la pérdida de plantas por los problemas fitosanitarios que se han presentado en las zonas citrícolas, debido al encarecimiento del manejo cultural y la reducción de la vida útil de los árboles. Por lo tanto, es imprescindible la selección de nuevos portainjertos, tolerantes tanto a factores bióticos como abióticos, limitantes en la citricultura. Además, es importante que los nuevos portainjertos, induzcan la formación de plantas de porte pequeño, pues plantas enanas generalmente presentan mayor eficiencia productiva (kilogramos de frutos por metro cúbico de copa), permiten elevadas densidades en plantío y mayor producción por hectárea. En plantas con bajo porte, las inspecciones, control de plagas y enfermedades también son realizadas con mejor eficiencia, lo que resulta en una reducción del uso de productos químicos y menores impactos ambientales, y facilitan la cosecha mecánica de frutos destinados a la industria de jugo. Uno de los métodos para la obtención de plantas enanas es la utilización de portainjertos enanizantes, entre los cuales están

los híbridos de microtangerinas como Sunki [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tan.], mandarino Cleópatra (*C. reshni* hort. ex Tan.) y Trifoliata (*Poncirus trifoliata* Raf.). En estos híbridos, se pretende reunir las cualidades de las mandarinas como tolerancia al declínio, al viroide de exocortis, a suelos calcáreos, y las cualidades de los trifoliados como inmunidad a la tristeza, resistencia a gomosis, frío e inundación, (Pompeu Jr. y Blúmer, 2009).

Los portainjertos afectan la calidad y producción de frutos, resistencia a plagas y enfermedades, aunque son afectados por el tipo de suelo y por las condiciones climáticas (Leite Jr., 1992). Sin embargo; cada portainjerto es diferente en el desarrollo, ya que algunos son más precoces que otros. Schäfer (2000), a los 197 días de la siembra de portainjertos en invernadero, consiguió altura de 10 cm para Trifoliata, 9 cm para citrange Troyer y 11 cm para citrumelo Swingle y lima Rangpur, confirmando que el Trifoliata presenta un crecimiento inicial más rápido. Schäfer *et al.* (2006b), mencionan que para Trifoliata, citrange C13, citrange C37 y lima Rangpur, la tendencia de crecimiento en altura fue constante, pero a los 120 días el Trifoliata presentó mayor desarrollo en comparación con los citranges, para las cuales fue intermedia, y la lima Rangpur presentó menor altura.

3.2 Semillas

La propagación de cítricos a escala comercial se lleva a cabo por medio de la germinación de semillas de los portainjertos y su posterior injertación con variedades de interés. En México, a partir de 2002 con la publicación de la Norma NOM-079-FITO-2002, se inició la propagación de plantas de cítricos certificadas; esto implica el uso de semillas de portainjertos de origen conocido (certificada), así como el uso de yemas certificadas libres de virus. Hasta 2009, la producción de plantas en vivero se podía hacer a cielo abierto, pero a partir de 2010, debido a la presencia de Huanglongbing (HLB) en México, la producción de plantas de cítricos se tiene que

hacer en espacios protegidos con malla antiáfidos de acuerdo a la Norma NOM-EM-047-FITO-2009; cabe indicar que desde 2004 el Lote Productor de Yemas (plantas certificadas, sembradas con la finalidad de cosechar yemas libres de plagas y enfermedades) se debe mantener en condiciones protegidas (Villegas-Monter, 2010).

La obtención de portainjertos se hace normalmente a partir de semillas; sin embargo, hay algunas que no toleran la desecación a más de 20 %, perdiendo rápidamente su viabilidad durante el almacenamiento, y dentro de éstas se encuentran los portainjertos de cítricos. La literatura reporta que hay variabilidad en la desecación, como es el caso del Trifoliata (*Poncirus trifoliata* L. Raf.); esto es porque su testa es más coriácea que los demás portainjertos cítricos, dificultando la imbibición y favoreciendo la pudrición de las semillas durante la germinación (Oliveira *et al.*, 2003). Varios autores han sugerido la existencia de algún tipo de dormancia en semillas de Trifoliata; la dormancia está relacionada con el grosor de la testa que actúa como barrera física a la imbibición de agua y difusión de gases, o por la presencia de cualquier factor que evite el desarrollo del embrión (Soetisna *et al.*, 1985).

Para aumentar la tasa y la uniformidad de germinación de semillas de plantas, pueden ser utilizados diversos tratamientos a la testa de las semillas, tales como: escarificación manual, escarificación física, con agua a diferentes temperaturas, calor seco, calor húmedo, frío seco y radiación; y, escarificación química, con soluciones ácidas, solventes orgánicos, sustancias estimuladoras de germinación como KNO_3 y reguladores de crecimiento (Radhamani *et al.*, 1991). Sin embargo poco se conoce sobre la eficiencia de tratamientos en semillas de cítricos a nivel de aplicación en el sector productivo.

Oliveira *et al.* (2006), trabajando con el portainjerto *Trifoliata* con diversos métodos de escarificación de semillas, manual y química en diferentes concentraciones, encontraron que la eliminación manual de la testa promovió mayor porcentajes de germinación a los 15 y 30 días después de la siembra, de 30.9 y 97.9 %, respectivamente, y para las semillas con testa fue de 4.6 y 69.8 %, respectivamente, de tal manera que la velocidad de germinación fue favorecida por la eliminación de la testa. Los porcentajes de germinación fueron superiores a 88.7 %, y variaron de acuerdo a los tratamientos aplicados; el tratamiento de escarificación química (con dosis cuatro veces mayor) resultó semejante a la eliminación manual. Wiltbank *et al.* (1995) observaron que la germinación de las semillas de *Trifoliata* ocurre de 9 a 84 días en ausencia de la testa, y de 17 a 101 días en presencia de ésta, obteniendo porcentajes finales de germinación de 100 y 81,2 %, respectivamente. Resultados similares han sido reportados por Radhamani *et al.* (1991).

Los mecanismos por el cual la eliminación de la testa acelera la germinación en cítricos, aún no son bien conocidos, pero según Soetisna *et al.* (1985), además del hecho de acelerar la germinación, puede haber alguna sustancia química presente en la testa que la inhiba.

Zucareli *et al.* (2009), usando diferentes porcentajes de desecación en semillas del portainjerto citrumelo Swingle, encontraron que los mayores porcentajes de germinación se presentaron en semillas sin testa. Fortes (2002) en semillas de *Poncirus trifoliata* también encontró mayor porcentaje de germinación cuando hubo eliminación de la testa. De la misma manera, Oliveira y Scivittaro (2007) observaron que la remoción de la testa favorece la germinación de las semillas de *Poncirus trifoliata* en relación al uso de semillas con testa.

3.3 Sustratos

Los sustratos son materias orgánicas e inorgánicas, inertes o químicamente activos, simples o mezclados, que se utilizan con finalidades de germinación de semillas, desarrollo y producción de plántulas de cultivos hortícolas, frutales y forestales, etc., usualmente bajo condiciones protegidas o en otros casos a campo abierto. Éstos presentan propiedades físicas (densidad aparente, densidad real, porosidad de aire, porosidad total, tamaño de partículas; etc.), químicas (pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio de cationes (CIC), contenido de nutrimentos; etc.) y biológicas (bioestabilidad, supresividad, sustancias tóxicas, etc.) que difieren de acuerdo a su naturaleza y se adecuan para una u otra finalidad de producción. Se usan mezclas de algunos materiales, tanto orgánicos como inorgánicos, por ejemplo la turba, arena, cáscaras vegetales, fibra de coco, vermiculita, agrolita, tezontle, tierra de monte y otros componentes (Kämpf, 2002; Zanetti *et al.*, 2003).

El cultivo de plantas cítricas en sustratos y en ambiente protegido favorece la producción de plantas de elevada calidad genética y sanitaria. Este necesita ser realizado en recipientes, donde las plantas producidas alteran su desarrollo en función del medio de cultivo, con limitaciones de espacio para el crecimiento de las raíces; de este modo, los sustratos deben posibilitar el perfecto desarrollo de éstas, para lo cual, es necesario conocer la calidad del mismo, a través de sus características físicas, químicas y biológicas, donde las más importantes son: entre las físicas, densidad aparente, porosidad total, porosidad de aire y retención de agua; entre las químicas, pH, CIC, CE, contenido de nutrimentos y relación C/N; y, entre las biológicas, la resistencia a la biodegradación y la presencia de sustancias fitotóxicas de los materiales orgánicos (Fermino, 2003). Según las características de los sustratos y de los recipientes, los portainjertos responden con diferentes niveles de crecimiento, que van a influenciar en el tiempo de obtención de la planta.

Schäfer *et al.* (2006b), utilizando los sustratos: a) comercial 1; sustrato rendimax citrus® (fabricante Eucatex®, sustrato de composta de cáscaras procesadas y enriquecidas, vermiculita expandida, perlita expandida y turba procesada y enriquecida); b) comercial 2; sustrato mecplant citrus 1® (fabricante Wolff Klabin Mec Prec, composición no especificada); y, c) mezcla 1; mezcla de sustrato comercial a base de turba (turba Fértil® - turba negra) y cáscara de arroz carbonizada (proporción 1:1 v/v), encontraron que hubo diferencias entre sustratos, observándose que el sustrato comercial 1 proporcionó los mejores índices de desarrollo de plántulas, seguido por la mezcla 1 y por último el sustrato comercial 2; la diferencia en el desarrollo de los portainjertos entre los tres sustratos se pudo ver a lo largo del tiempo, y el cultivo en el sustrato 2 tuvo aproximadamente 4 cm más de altura; el desarrollo del diámetro del tallo y los índices de área foliar, fueron menores en los portainjertos con el sustrato comercial 2; éste indujo menor número de hojas y consecuentemente menor índice de área foliar, reduciendo la tasa fotosintética y generando disminución de todas las características del desarrollo vegetativo, mientras que la mezcla 1 no presentó diferencias estadísticas en diámetro de tallo y número de hojas, y solo hubo diferencias en área foliar debido al menor desarrollo de las hojas.

La salinidad puede ser considerada como uno de los problemas más serios en la nutrición y producción de plántulas en sustratos, pues afecta la absorción de agua y nutrimentos. Sin embargo, su efecto depende de factores como la especie y la variedad dentro de ésta, del estado vegetativo y la edad de la planta, de las condiciones ambientales (clima, temperatura, etc.) y prácticas culturales (riegos, fertilizaciones, etc.), llegando a limitar el poder nutritivo del medio de cultivo (Souza, 1995). Para plantas cítricas en sustratos libres de suelo, no existen recomendaciones específicas referentes a salinidad; sin embargo, estudios con plantas ornamentales ayudan a las interpretaciones; al respecto, Kämpf (2000)

menciona que niveles de 3 g L^{-1} de sales pueden ser considerados altos, y en algunos casos fitotóxicos. La fertilización de base y los sustratos ricos en sales, por ejemplo fibra de coco, son la primera causa, pero el exceso de éstas se puede lixiviar fácilmente con el agua de riego (Noguera *et al.*, 2000).

Fochesato *et al.* (2007) usaron lima Rangpur, citrange C13 y Trifoliata con los sustratos comerciales: composta de turba negra (comercial 1), composta de cáscaras procesadas y enriquecidas, vermiculita expandida, perlita expandida y turba (comercial 2), y composta de cáscara de pino con vermiculita (comercial 3), encontrando que hubo interacción entre los factores sustrato y portainjerto. La mayor área foliar se obtuvo con el portainjerto lima Rangpur, seguido por el citrange C13, producidos en el sustrato comercial 2; y, en el sustrato comercial 1, los tres portainjertos presentaron semejanza entre sí; en el sustrato comercial 3, los portainjertos citrange C13 y lima Rangpur fueron superiores al Trifoliata. También Schäfer (2004), trabajando con diferentes sustratos y portainjertos en la fase de semillero, encontró que los portainjertos C13 y lima Rangpur presentaron mayor área foliar por hoja que el Trifoliata.

Mendonça *et al.* (2003), en producción de plántulas de papaya con diferentes sustratos Plantimax®: sustrato a (estiércol de corral, carbón vegetal, suelo y arena, en proporción 2:1:1:1 v/v), sustrato b (vermicomposta, carbón vegetal, suelo y arena, en proporción 1:1:1:1 v/v), y sustrato c (Plantimax®, carbón vegetal, suelo y arena, en proporción 1:1:1:1 v/v), usando bolsas de polietileno de 750 mL, charolas de 70 mL célula⁻¹ y tubetes de 50 mL, encontraron que los sustratos proporcionaron alturas diferentes en las plantas y según los recipientes, siendo el sustrato c el que originó el menor desarrollo de la plántula, independientemente del recipiente, y en número de hojas, la bolsa de polietileno y el sustrato a fueron la combinación que proporcionó

influencia positiva y el que presentó mayor número de hojas. Cuando se analizaron los recipientes, los sustratos no difirieron estadísticamente entre sí, pero Plantimax® a y b, proporcionaron mayor número de hojas que el sustrato c para charolas y tubetes.

3.4 Nutrición

La eficiencia de la aplicación de los fertilizantes juega un papel fundamental en la producción de plantas cítricas. El nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante en los programas de fertilización y se torna especialmente crítico para la producción de plantas cítricas, en donde la densidad de plantas es elevada, y de rápido crecimiento vegetativo (Esposti y Siqueira, 2004). Existen indicaciones de respuestas positivas de portainjertos cítricos cultivados en tubetes y aplicaciones de N, en los primeros cuatro meses después de la siembra (Carvalho y Souza, 1996; Decarlos *et al.*, 2002); sin embargo, la aplicación de N, fósforo (P) y potasio (K) es esencial durante toda la fase de formación de las plantas (Bernardi *et al.*, 2000). Además de la dosis adecuada, es importante el conocimiento de la frecuencia de la aplicación cuando ocurre lixiviación de nutrimentos, provocada por los constantes riegos y debido a las pequeñas dimensiones de los recipientes (Barroso *et al.*, 2000). Así mismo, hay necesidad de que los nutrimentos sean aplicados continuamente, principalmente el N y K.

Una forma de mejorar la eficiencia de la nutrición para la producción de plantas por fertirrigación, es la aplicación de nutrimentos juntamente con el agua de riego; con ello se obtiene mejor distribución de los fertilizantes en el contenedor y en el tiempo, aumentando la absorción de nutrimentos, por las plantas (Duenhas *et al.*, 2005). Sin embargo, existe la necesidad de más información que pueda sustentar una recomendación de fertirrigación para la producción de portainjertos cítricos, cultivadas en recipientes usando sustratos inertes.

Hay varios trabajos en los que se ha evaluado el uso de fertilizantes en portainjertos cítricos. Vale *et al.* (2009) sembraron semillas de lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck.) en tubetes usando composta de cáscara de pino y vermiculita, aplicando tres dosis de N, P, K y micronutrientos (B, Mn, Zn y Fe); después de cuatro meses de germinadas, encontraron que conforme aumentó la aplicación de P hubo un incremento lineal de este nutriente en hojas y diferencias de N y P entre los tratamientos y el testigo; los tratamientos con diferentes dosis de fertilización presentaron más del doble de masa seca total comparados con el testigo. Estos resultados fueron diferentes a los obtenidos por Natale y Marchal (2002), que en plantas de cítricos de 18 meses de edad, sembradas en vasos, las aplicaciones foliares de N a los 10 y 20 días no proporcionaron diferencias, ya que las plantas responden a largo plazo. Serrano *et al.* (2004) encontraron que la incorporación de fertilizante de liberación lenta de N, P y K (Osmocote® 14-14-14) al sustrato, aumentó de forma lineal los niveles foliares de N del portainjerto lima Rangpur.

Rozane *et al.* (2007), en la producción de citrómelo Swingle sembrado en sustrato de cáscara de pino y vermiculita en tubetes, encontraron mayor crecimiento en altura, diámetro de tallo, área foliar, masa seca de la parte aérea y del sistema radicular, comparado con el testigo (sin fertilización). Por otro lado, se obtuvo mayor área foliar con la dosis recomendada de N, mayor altura y masa seca de la parte aérea con la dosis recomendada de P y mayor masa seca de la parte aérea con la dosis recomendada de K en comparación con la mitad de la dosis recomendada de N, P y K; sin embargo, la utilización del doble de la dosis recomendada de N, P y K no proporcionó mayor crecimiento de las plantas. El diámetro del tallo, es una característica adoptada como referencia para determinar si las plantas están aptas para ser injertadas; en relación a esta variable, Serrano *et al.* (2004) encontraron que el portainjerto lima Rangpur logró el punto de injerto más rápido (137 días), caracterizado por el diámetro medio del tallo de 8.0 mm, en condiciones de mayor disponibilidad de nutrientes.

Oropeza y Russián (2008), utilizando vermicomposta como fertilización orgánica en portainjertos de limón Volkameriano, citrumelo Swingle y mandarina Cleopatra, encontraron mayor promedio de longitud del tallo del injerto y número de hojas en los portainjertos mandarina Cleopatra y citrumelo Swingle; y, limón Volkameriano se comportó similar entre los tratamientos, pero a los 100 días después del trasplante el portainjerto limón Volkameriano y mandarina Cleopatra eran similares en longitud del tallo del injerto, y citrumelo Swingle mostró resultados menores de casi la mitad de los anteriores pero con mayor peso seco.

3.5 Uso de contenedores

En semilleros es importante tomar en cuenta el tamaño y forma de los recipientes utilizados para el desarrollo de las plantas, pues esto acarrea alteraciones en el comportamiento del sustrato, en la disponibilidad de nutrientes y agua, en la aireación y otras variables, así como la mano de obra a ocupar en el vivero (Bailey *et al.*, 2005). En esta fase, algunos productores en ambientes protegidos utilizan charolas y otros prefieren el uso de tubetes, ambos han obtenido buenos resultados. Por eso la utilización de recipientes como las charolas, bolsas de polietileno y tubetes, permite a los productores un mejor aprovechamiento del área destinada a la producción de plantas, además de mayor facilidad de manejo y un menor costo en relación a los recipientes individuales, como son los tubetes. En esta etapa, se utilizan recipientes de menor volumen, y en algunos casos se emplea el método de riego por microaspersión; sin embargo, en el cultivo de portainjertos cítricos en tubetes o charolas, los riegos por la parte aérea de la planta puede facilitar la propagación de enfermedades fúngicas y bacterianas, que son dispersadas por el agua (Schäfer, 2004).

Teixeira *et al.* (2009), trabajando con diferentes recipientes en portainjertos cítricos, encontraron que a los 90 días después de la siembra, independientemente del portainjerto y del recipiente utilizado, el crecimiento de la plántula se mostró lento, pero a partir de esta fecha y debido al aumento de temperatura, los portainjertos

presentaron una aceleración del crecimiento; el comportamiento de la parte aérea a lo largo del tiempo fue semejante para las plantas sembradas en charolas y tubetes, pero a partir de los 120 días de desarrollo las plantas sembradas en charolas presentaron un mayor incremento en altura, y los portainjertos C37 y Trifoliata presentaron un desarrollo semejante y fueron superiores a mandarina Sunki.

La altura del recipiente es fundamental en la determinación del agua retenida después del riego, pues con el aumento de la altura de éstos, ocurre un aumento en la capacidad de aireación, lo que provoca una consecuente disminución en la retención de agua debido al aumento del drenaje por la acción gravitacional (Bailey *et al.*, 2005). Coherentemente, el sistema de riego influye en los resultados, ya que cuando se usa por capilaridad y más alto es el recipiente, más dificultad hay para que suba el agua a la parte superior del contenedor. Teixeira *et al.* (2009) usaron tubetes de mayor altura que las charolas, y las plantas de portainjertos sembradas en las charolas presentaron mayor uniformidad en la humedad del sustrato, terminando con un mayor crecimiento del sistema radicular y de la parte aérea. Serrano *et al.* (2004) encontraron promedios altos en diámetro de tallo, peso seco de raíz, hoja y tallo para plantas de semillas de lima Rangpur, germinadas en tubetes. Se han encontrado resultados favorables al desarrollo vegetativo de plantas producidas en tubetes, para especies fructíferas como guayaba (*Psidium spp.*) (Schiavo y Martins, 2002).

Las plantas producidas en tubetes sufren restricciones en el crecimiento lateral de las raíces, impuestas por las paredes, las cuales provocan deformación de éstas, por realizar su crecimiento hacia abajo, a lo largo de las paredes de los tubetes (Leal *et al.*, 2005). Cuando el sistema radical pivotante, encuentra la parte final del tubete, se presentan algunas anomalías morfológicas, como la poda natural de la región apical y de la ramificación de las raíces, con posterior subdivisión del sistema radical (Baldassari *et al.*, 2003).

3.6 Producción en ambientes protegidos

El cultivo de plantas cítricas en ambientes protegidos favorece la producción de plantas de elevada calidad genética y sanitaria. Este cultivo necesita ser hecho en recipientes, donde las plantas alteran su desarrollo, en función del medio de cultivo, y limitaciones de espacio para el crecimiento de raíces. En sistemas de producción de plantas en contenedores, ya utilizado en varios países, se pueden producir plantas desde semillero hasta la comercialización de 10 a 15 meses (Carvalho *et al.*, 2005), mientras que en sistemas de producción en campo, esto lleva hasta 36 meses. En estos sistemas de producción, se pueden evitar con mayor facilidad la infección de las plantas por enfermedades.

La producción se divide en dos fases: una de semillero, en que se utilizan tubetes o charolas y, posteriormente, el desarrollo en bolsas o sacos de plástico; ambas fases son realizadas dentro de invernaderos (Carvalho y Souza, 1996), con fertilización y sustratos inertes sin suelo.

Las plantas certificadas presentan mejor calidad genética y fitosanitaria, y su costo varía por el tipo de planta que significativamente es mayor que el de las plantas producidas a cielo abierto (Oliveira y Scivittaro, 2004). En virtud del costo de las semillas y de la estructura del ambiente protegido, uno de los puntos relevantes se refiere a la obtención de altas tasas de germinación y uniformidad de desarrollo de las plantas (Oliveira y Scivittaro, 2003). Consecuentemente, se necesita la implementación de investigaciones a fin de optimizar el sistema de producción de plantas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Este apartado se encuentra dividido en cuatro partes, donde la primera se refiere a la metodología general que se usó en todos los experimentos, y en la segunda se menciona la metodología usada en cada uno de los tres experimentos realizados.

4.1 Localización

La investigación se realizó en el invernadero del vivero Cazonos, Cazonos, Veracruz, ubicado a 20° 40' N y 97° 28' O y 10 m de altitud. Cazonos limita al norte con el municipio de Tuxpan, al este con el litoral del Golfo de México, al sur con el municipio de Papantla y al oeste con el municipio de Tihuatlán (INEGI, 2005); tiene clima tropical, cálido subhúmedo, con lluvias en verano y con precipitación media anual de 1200 mm y temperatura media anual de 25°C.

4.2 Extracción de semillas de portainjertos cítricos

Se cosecharon frutos de cuatro portainjertos: citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *C. sinensis* (L.) Obs.), mandarino Cleopatra (*C. reshni* Hort., ex Tan.), limón Volkameriano (*C. volkameriana* Ten. & Pasq.) y mandarino Amblicarpa (*C. amblycarpa* Ochse.), del huerto certificado del vivero Cazonos, para obtener semillas de origen conocido. Con la finalidad de calcular cuantas semillas se tendrían en total y que alcanzaran para la siembra de los experimentos; se contaron las semillas de 50 frutos (Cuadro 1), y se obtuvo el promedio por fruto y en seguida se les dió el siguiente tratamiento:

1. Los frutos se lavaron con agua de la llave y se dejaron secar a la sombra; se cortaron ecuatorialmente (albedo – flavedo), y en el caso de limón Volkameriano, citrumelo Swingle y mandarino Amblicarpa el corte llegó hasta un centímetro aproximadamente de la pulpa, y en mandarino Cleopatra, a los frutos se les eliminó el albedo y flavedo manualmente.

2. Las semillas se exprimieron sobre un colador para eliminar el jugo; se lavaron con agua corriente hasta que quedaron limpias, después con agua y cal (1g L^{-1} de H_2O), para quitarles el mucílago; se enjuagaron con agua limpia para quitarles la cal; y se pusieron a secar en sombra extendidas sobre una malla mosquitera limpia, y ya secas se les dió tratamiento térmico.

3. En una olla de peltre se puso agua (3 L aprox.) a calentar en una estufa hasta llegar a 55°C (se midió con termómetro), se disminuyó el fuego y (si continua subiendo la temperatura, se apaga la estufa) se vaciaron las semillas moviéndolas por 10 minutos, luego se eliminó el agua caliente y se agregó agua fría, después se colocaron sobre malla para secarlas; se pusieron en frascos de vidrio y se guardaron en refrigeración (4°C) hasta el momento de la siembra.

Cuadro 1. Promedio de semillas por fruto de los portainjertos cítricos cosechados en el vivero Cazonas.

Portainjerto	Semillas por fruto¹
citrumelo Swingle	15
mandarino Cleopatra	21
limón Volkameriano	25
mandarino Amblicarpa	11

¹Promedio de 50 frutos.

4.3 Instalación del las estructuras de malla metálica dentro del invernadero

Se construyeron seis estructuras metálicas con malla (EMM) ondulada de cuadros de 4×4 cm, tipo mesa de 1 m de ancho, 1 m de altura y 4 m de largo, en el taller de herrería del Colegio de Postgraduados, para soporte de los tubetes (porta-tubetes), y se trasladaron al vivero donde se colocaron dentro del invernadero en una sola hilera.

4.4 Tubetes

Los tubetes utilizados para la siembra de las plantas, fueron de material plástico negro de forma cónica, de 19 cm de largo por 4 cm de diámetro superior y 1 cm en la base, con 180 mL de capacidad, y se colocaron en las EMM. El uso de tubetes tiene las siguientes ventajas: mayor producción por unidad de superficie, menor cantidad de sustrato usado, fácil manejo y transporte, reutilización de hasta nueve veces, con estrías internas que orientan a las raíces hacia abajo además de facilitar la separación del cepellón de la pared, poda natural, clasificación de las plántulas de acuerdo a su tamaño, optimización en el uso de semillas y agroquímicos, etc.

4.5 Experimento I

Con el objetivo de evaluar el efecto de la eliminación de la testa en la velocidad de germinación de las semillas de tres portainjertos cítricos (mandarino Cleopatra, limón Volkameriano y mandarino Amblicarpa) en tres sustratos.

4.5.1 Sustratos

Se utilizaron tres sustratos comerciales, pasteurizados: turba, Germinaza® (fibra de coco) y Agromix® (mezcla de turba y agrolita).

- **Turba.** Material de descomposición parcial de plantas acuáticas, de pantanos o ciénegas, bajo condiciones anaeróbicas de inundación principalmente ácidas y en ausencia de nutrimentos; las turbas rubias presentan elevada retención de agua, porosidad total y de aire, capacidad de intercambio de cationes (CIC), bajo contenido de nutrimentos, baja conductividad eléctrica (CE) y pH ácido. Las turbas negras son más descompuestas y tienen baja capacidad de retención de agua y menor porosidad de aire.

- **Germinaza®**. Material originado a partir del mesocarpio del coco, de consistencia fibrosa; presenta elevada retención de agua y porosidad de aire, puede tener altos contenidos de cloro, sodio y CE, bajo contenido de nutrimentos y alta resistencia a la biodegradación; ésta última propiedad la hace apropiada para ser utilizada en cultivos de ciclo largo.
- **Agromix®**. Es una mezcla de turba y agrolita, donde ésta última es un material silíceo, producido por el calentamiento rápido de vidrio volcánico natural a 1200°C; tiene baja densidad aparente y alta capacidad de retención de agua (de hasta 5 veces su peso), no aporta nutrimentos; la agrolita se usa en mezclas con otros sustratos para aumentar la aireación.

Cada sustrato se colocó sobre una carretilla, se adicionó agua hasta humedecerlo perfectamente; después se llenaron los tubetes y se colocaron en charolas para llevarlas al invernadero y distribuir las en las EMM de acuerdo al diseño experimental.

Los sustratos se analizaron en el Laboratorio de Física de Suelos, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, para su caracterización física y química; las propiedades físicas determinadas fueron: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad total (PT), porosidad de aire (PA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y la curva de retención de agua, mediante los métodos de De Boodt *et al.* (1974) y Landis *et al.* (1990); las propiedades químicas determinadas fueron: pH por el método del potenciómetro, la CE por el conductímetro y la CIC por el método de Arsorena, (1994).

4.5.2 Semillas

Se utilizó un total de 960 semillas por portainjerto, y al 50% de éstas se les dió tratamiento para la eliminación manual de la testa que consistió:

- En un vaso con agua corriente se pusieron a remojar 480 semillas 2 horas y después manualmente se les eliminó la testa.
- Las semillas sin testa se colocaron en un vaso de cristal limpio, se taparon y se pusieron en refrigeración, hasta el momento de la siembra.

4.5.3 Diseño de tratamientos y experimental

Los factores a estudiar fueron: tres portainjertos (mandarino Cleopatra, limón Volkameriano y mandarino Amblicarpa), dos tratamientos de semillas (con y sin testa) y tres sustratos (turba, Germinaza® y Agromix®), que se combinaron en un arreglo factorial 3 x 2 x 3 de 18 tratamientos, los que se repitieron cuatro veces en un diseño experimental completamente al azar. La unidad experimental fue un tubete con una semilla.

En el Cuadro 1-A se muestran los tratamientos y su distribución en las EMM dentro del invernadero, para las cuatro repeticiones, dando un total de 72 unidades experimentales (Figura 1).



Figura 1. Establecimiento del experimento I en el invernadero, para la germinación de semillas de los portainjertos cítricos, con dos tratamientos de semillas en los tres sustratos.

4.5.4 Establecimiento del experimento

El experimento se estableció el 25 de julio de 2009. Antes de poner las semillas a germinar, se remojaron en agua por 2 h, luego se trataron con captan al 1 % durante 10 min, posteriormente se colocaron en los tubetes con sustrato; para esto, con una bomba aspersora se humedeció el sustrato y con un tubo de madera se compactó dentro del tubete, lo que generó un espacio de 2 cm de profundidad donde se colocó una semilla por tubete, que se cubrió con Germinaza®. Los riegos se realizaron con agua corriente, según los sustratos lo demandaban.

4.5.5 Variables evaluadas

- ✿ Se determinaron las propiedades físico-químicas de los sustratos al inicio del experimento.
- ✿ Se determinó el porcentaje de germinación de cada uno de los portainjertos, considerando que una semilla había germinado cuando se observó el ápice del brote.
- ✿ Se determinó la dinámica de germinación, desde la primera semillas hasta la última (número de plántulas que germinaron por día), para determinar la diferencia en germinación entre semillas con y sin testa.

4.6 Experimento II

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes mezclas de sustratos en la germinación de semillas de cuatro portainjertos cítricos (citrumelo Swingle, mandarina Cleopatra, limón Volkameriano y mandarina Amblicarpa), se estudiaron distintas combinaciones de los materiales: turba-tepojal, turba-vermiculita, Germinaza®-tepojal y Germinaza®-vermiculita, considerando también el número de plántulas que germinaron por semilla (poliembrión) sembrada.

4.6.1 Sustratos

Se utilizaron ocho mezclas (Cuadro 2) y dos testigos (turba y Germinaza®) como sustratos.

- **Turba.** Material de descomposición parcial de plantas acuáticas, de pantanos o ciénegas, bajo condiciones anaeróbicas de inundación principalmente ácidas y en ausencia de nutrientes; las turbas rubias presentan elevada retención de

agua, porosidad total y de aire, capacidad de intercambio de cationes (CIC), bajo contenido de nutrimentos, baja conductividad eléctrica (CE) y pH ácido. Las turbas negras son más descompuestas y tienen baja capacidad de retención de agua y menor porosidad de aire.

- **Germinaza®.** Material originado a partir del mesocarpio del coco, de consistencia fibrosa; presenta elevada retención de agua y porosidad de aire, puede tener altos contenidos de cloro, sodio y CE, bajo contenido de nutrimentos y alta resistencia a la biodegradación; ésta última propiedad la hace apropiada para ser utilizada en cultivos de ciclo largo.

- **Vermiculita.** Mineral considerado dentro del grupo de las micas, para su uso como sustrato debe procesarse en horno hasta 1000 °C, con lo cual se expande y pierde el agua atrapada entre sus láminas formando pequeños poros; tiene baja densidad aparente (0.1 a 0.2 g cm⁻³), pH neutro, y alta CIC, porosidad de aire y retención de agua.

- **Tepojal.** Material de color blanco, que se forma cuando la espuma de lava emerge del volcán (roca ígnea extrusiva) y se enfría tan rápido que los cristales no alcanzan a formarse; tiene baja densidad aparente, y resistencia física de partículas, pH neutro y alta porosidad de aire, retención de agua; debido a su relativamente alta CIC puede adsorber algo de calcio, potasio, magnesio y fósforo de la solución del suelo.

Los materiales se mezclaron en distintas proporciones para generar ocho mezclas de sustratos, según se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Sustratos y sus diferentes proporciones de materiales, usados para la germinación de los portainjertos cítricos.

Sustrato	Proporción
1. turba-vermiculita.	(80-20%, vol.)
2. Germinaza®-vermiculita.	(60-40%, vol.)
3. turba-vermiculita.	(60-40%, vol.)
4. Germinaza®-tepojal.	(80-20%, vol.)
5. turba	Testigo (100%, vol.)
6. turba-tepojal.	(60-40%, vol.)
7. Germinaza®	Testigo (100%, vol.)
8. Germinaza®-vermiculita.	(80-20%, vol.)
9. Germinaza®-tepojal.	(60-40%, vol.)
10. turba-tepojal.	(80-20%, vol.)

Los sustratos se analizaron en el Laboratorio de Física de Suelos, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, para su caracterización física y química; las propiedades físicas determinadas fueron: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad total (PT), porosidad de aire (PA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y la curva de retención de agua (De Boodt *et al.*, 1974; Landis *et al.*, 1990); las propiedades químicas determinadas fueron: pH por el método del potenciómetro y CE por el conductímetro.

4.6.2 Semillas

En el experimento I no se tuvo porcentajes de germinación como se esperaban para las semillas sin testa, por lo que en el experimento II se decidió utilizar solo semillas con testa. Las semillas presentaban 6 meses de almacenamiento, y antes de sembrarlas se pusieron a remojar en vasos de unicel de 1 L durante 2 horas.

4.6.3 Diseño de tratamientos y experimental

Los factores a estudiar fueron: cuatro portainjertos (citrumelo Swingle, mandarina Cleopatra, limón Volkameriano y mandarina Amblicarpa) y 10 sustratos, que se combinaron en un arreglo factorial 4 x 10 de 40 tratamientos, los que se repitieron cuatro veces en un diseño experimental en bloques completos al azar, la unidad experimental fue un tubete con una semilla sembrada.

El Cuadro 2-A se muestra como ejemplo para el portainjerto citrumelo Swingle, en tratamientos de los 10 sustratos, que se repitieron cuatro veces.

4.6.4 Establecimiento del experimento

Los materiales se consideraron en sus tamaños presentes de partículas, excepto el tepojal para el cual, debido a su mayor tamaño de partícula, se procedió a separar las partículas en tamaño de 0.5 a 1 cm y 0.1 a 0.5 cm (Figura 2), utilizándose finalmente éste último tamaño por presentar un mejor acomodamiento en el tubete.



Figura 2. Estructura para cernir el tepojal, en las mezclas de sustratos utilizados para la siembra de semillas de portainjertos cítricos.

Los materiales se mezclaron manualmente sobre una carretilla, luego se adicionó agua hasta humedecerlos completamente y se homogeneizó la mezcla, como se muestra en la Figura 3; en seguida se llenaron los tubetes y se colocaron en las EMM dentro del invernadero.



Figura 3. Preparación de la mezcla de turba-vermiculita (a) y aplicación de agua al sustrato (b).

El experimento se estableció el 7 y 8 de octubre de 2009. Antes de poner las semillas a germinar, se remojaron en agua corriente durante 2 h (cada portainjerto por separado), luego se trataron con captan al 1% durante 10 min, posteriormente se colocaron en los tubetes con sustrato; para esto, con una bomba aspersora se humedeció el sustrato y con un tubo de madera se compactó dentro del tubete, lo que generó un espacio de 2 cm de profundidad donde se colocó una semilla por tubete, que se cubrió con el mismo sustrato del bloque; los riegos se realizaron con agua corriente, durante todo el periodo experimental y como los sustratos lo demandaban.

4.6.5 Variables evaluadas

- ✿ Se determinaron las propiedades físico-químicas de los sustratos al inicio del experimento.
- ✿ Se determinó el porcentaje de germinación de cada uno de los portainjertos, considerando que la semilla había germinado cuando se observó el ápice del brote.
- ✿ Se determinó la poliembrionía de los portainjertos en base al número total de plántulas germinadas.

4.7 Experimento III

Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con la solución nutritiva Steiner en dos concentraciones y una solución nutritiva formulada por el viverista, sobre el desarrollo de plántulas de portainjertos cítricos, en nueve sustratos, se determinó el estado nutrimental (del mejor y peor tratamiento) en parte aérea de las plántulas de los portainjertos.

4.7.1 Sustratos

Se consideraron los sustratos utilizados en el experimento II: turba-tepojal, turba-vermiculita, Germinaza®-tepojal, Germinaza®-vermiculita, en proporciones de 80-20% y 60-40%, vol., y turba sola, excepto Germinaza® que no se consideró por presentar bajos porcentajes de germinación.

4.7.2 Portainjertos

Se utilizaron las plántulas de los cuatro portainjertos cítricos (citrumelo Swingle, mandarina Cleopatra, limón Volkameriano y mandarina Amblicarpa) obtenidas de la germinación en los distintos sustratos en el experimento II.

4.7.3 Soluciones nutritivas

Para la fertilización de las plántulas se utilizaron tres soluciones nutritivas: solución de Steiner en dos concentraciones: 25% y 50% (Steiner, 1961), y una solución utilizada por los viveristas de la región. En el Cuadro 3 se presenta la concentración de nutrimentos de la solución Steiner al 50 % y la del viverista, por cada litro de solución.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en la solución Steiner al 50 % y la del viverista.

Nutrimento	Solución Steiner al 50 %	Solución del viverista
	----- (g L ⁻¹) -----	
Nitrógeno	0.084	0.29
Fósforo	0.0155	0.085
Potasio	0.137	0.05
Calcio	0.18	0.00025
Magnesio	0.047	0.00025
azufre	0.168	0.0032
Boro	0.063	0.0004
Zinc	0.012	0.1
Cobre	0.001	0.0004
Molibdeno	0.0015	0.00004
Hierro	0.0015	0.1
Manganeso	-----	0.0004
Cobalto	-----	0.00002
Clorhidrato de tiamina	-----	0.00004
Agentes de penetración	-----	0.005
Fitohormonas	-----	0.00006
Folcisteína	-----	0.0028
Acido húmico	-----	0.0081

4.7.4 Diseño de tratamientos y experimental

Los factores a estudiar fueron: cuatro portainjertos (citrumelo Swingle, mandarina Cleopatra, limón Volkameriano y mandarina Amblicarpa), nueve sustratos (Cuadro 2) y tres soluciones nutritivas (solución Steiner al 25 y 50% y solución formulada por el viverista), que se combinaron en un arreglo factorial 4 x 9 x 3 de 108 tratamientos, que se repitieron tres veces en un diseño experimental en bloques completos al azar. La unidad experimental fue una plántula por tubete.

El Cuadro 3-A se muestra como ejemplo para el portainjerto citrumelo Swingle en el sustrato Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y tratamiento de las soluciones nutritivas, que se repitieron tres veces.

4.7.5 Establecimiento y manejo del experimento

Las plántulas de los cuatro portainjertos utilizados fueron las obtenidas en el experimento II, considerando aquellas sanas y sin deformaciones, y en los tubetes con poliembrionía se dejó una sola planta; para cada tratamiento de portainjerto, sustrato y solución nutritiva, se consideraron 10 plántulas por repetición.

La aplicación de las soluciones nutritivas se hizo dos veces por semana, a partir de los 30 días de la germinación (en el experimento II), hasta los cuatro meses cuando éstas presentaron tamaño apto para ser trasplantadas, y los riegos se realizaron de acuerdo a la demanda de las plantas.

4.7.6 Variables evaluadas

Cuando las plantas tenían 4 meses de haber iniciado los tratamientos de aplicación de las soluciones nutritivas, estando listas para ser trasplantadas, se tomaron 6 plantas al azar de las 30 que tenía cada tratamiento (3 repeticiones de 10 plantas cada una), se etiquetaron y ordenaron, se sacaron del tubete, se separaron las raíces del sustrato y se lavaron con agua corriente. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- ✿ pH y conductividad eléctrica (CE) de los sustratos antes y después de ser usados.
- ✿ Número de hojas, longitud de tallo y raíz, diámetro del cuello de raíz, peso de materia fresca y materia seca de hoja, tallo y raíz, área foliar (integrador de área foliar Modelo LI-3100 rea meter), de las plantas.
- ✿ La concentración nutrimental de la parte aérea de plantas desarrolladas en los sustratos que proporcionaron mejores y peores valores en las variables mencionadas en el punto anterior.
- ✿ Las concentraciones nutrimentales se determinaron mediante los siguientes métodos: nitrógeno (N) por Kjeldahl; fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), hierro(Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) por digestión húmeda con mezcla ácida (HNO_3 - HClO_4 - H_2SO_4), y su cuantificación con espectrofotómetro de emisión atómica con inducción acoplada con plasma (modelo Liberty Series Secuencial, marca Varian, Alemania) (Alcántar y Sandoval, 1999); cloruros (Cl^-) por Colorimetría; y, sulfatos (SO_4^-) por Turbidimetría.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se presentan a continuación, de acuerdo a cada experimento realizado.

5.1 Experimento I

5.1.1 Propiedades físico-químicas de los sustratos y retención de agua

En el Cuadro 4 se presentan los valores de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, y los valores considerados como óptimos por Abad *et al.* (1993). Para los tres sustratos la densidad aparente (D_a) fue baja, entre 0.07 y 0.16 g cm⁻³; la densidad real (D_r) varió entre 1.10 y 1.37 g cm⁻³; la porosidad total (PT) fue alta, de 88 y 89 % para turba y Agromix®, y 94 % para Germinaza®; la porosidad de aire (PA) fue de 12 y 19 % para Agromix® y turba, y alta para Germinaza®, de 39 %; el pH fue bajo e inferior del rango considerado como óptimo para la turba y Germinaza®, de 3.6 y 4.8, y estuvo dentro del rango para Agromix® con 5.5; la conductividad eléctrica (CE) fue baja para la turba, de 0.45 dS m⁻¹, ligeramente alta para Agromix®, de 1.01 dS m⁻¹, y alta para Germinaza®, de 3.16 dS m⁻¹; la capacidad de intercambio de cationes (CIC) presentó valores altos y superiores al rango considerado como óptimo, con valores de 133, 132 y 93 meq 100 g⁻¹ para turba, Germinaza® y Agromix®, respectivamente.

Cuadro 4. Propiedades físico-químicas de los sustratos.

Sustrato	Propiedad físico-química ⁺						
	Da	Dr	PT	PA	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (meq 100g ⁻¹)
	(g cm ⁻³)		(% vol.)				
turba	0.14	1.24	89	19	3.6	0.45	133
Germinaza®	0.07	1.10	94	39	4.8	3.16	132
Agromix®	0.16	1.37	88	12	5.5	1.01	93
Óptimo⁺⁺	<0.4	1.4-2.6	>85	10-30	5.2-6.3	0.75-3.5	>20

⁺Da= densidad aparente, Dr= densidad real, PT= porosidad total, PA=porosidad de aire, CE= conductividad eléctrica, CIC= capacidad de intercambio catiónico.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

En el Cuadro 5 se presentan los valores de retención de agua y porosidad de los sustratos; a partir de los valores de retención de agua se construyeron las curvas, según se presenta en la Figura 4, y se obtuvieron los valores de agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD), como se indica en el Cuadro 6, en donde además, se presentan los valores óptimos descritos por Abad *et al.* (1993). La porosidad de aire (PA) se presentó dentro del nivel óptimo para Agromix®, con 27.8 %, y fue alta para turba y Germinaza®, con 33.7 y 30.8 %; el espacio poroso total (EPT) presentó valores ligeramente bajos para turba y Germinaza®, de 84 y 73 %, y fue alto para Agromix®, de 89 %; el AFD fue similar entre los sustratos pero se encontró abajo de los óptimos, con 15.6, 14.6 y 19.2 %, para turba, Germinaza® y Agromix®, respectivamente; el AR se presentó dentro de los niveles óptimos, de 5.2 a 8.3%; y, el ADD estuvo entre 19.2 y 35.7 %.

Cuadro 5. Retención de agua y porosidad de los sustratos.

Sustrato	Retención de agua (% vol.)				PA ⁺	EPT ⁺
	0	10	50	100		
	cm c. a.				(% vol.)	
turba	70	50.2	34.7	29.5	33.7	83.9
Germinaza®	50	42.1	27.5	19.2	30.8	72.9
Agromix®	76	61.2	42.0	35.7	27.8	89.0
Óptimo⁺⁺	-----	-----	-----	-----	20-30	>85

⁺PA= porosidad de aire, EPT= espacio poroso total.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

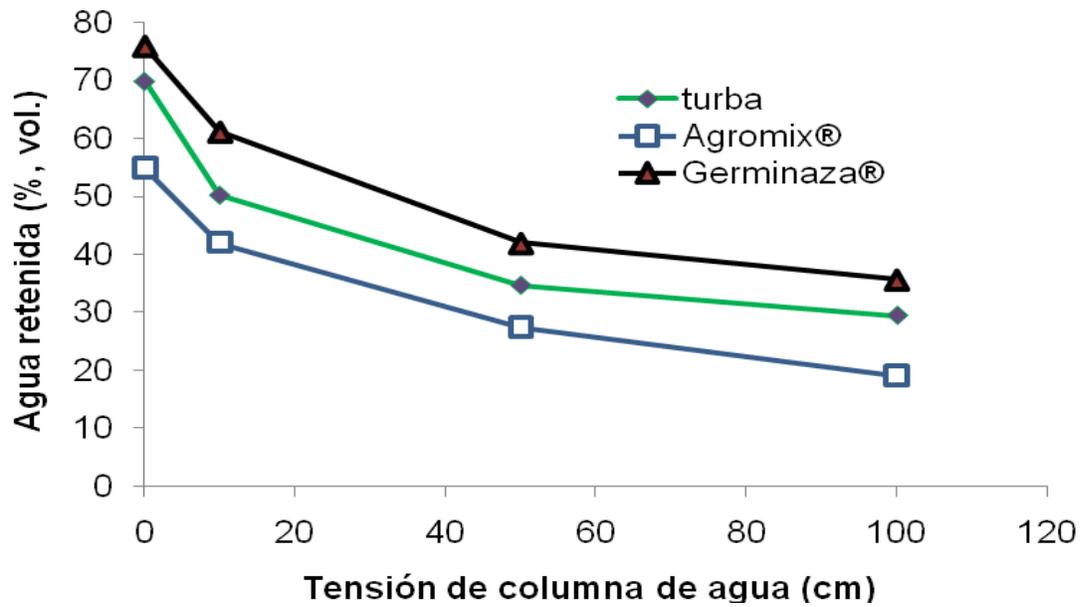


Figura 4. Curva de retención de agua para los sustratos.

Cuadro 6. Agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible, de los sustratos.

Sustrato	Agua retenida (% vol.) ⁺		
	AFD	AR	ADD
turba	15.6	5.2	29.5
Germinaza®	14.6	8.3	19.2
Agromix®	19.2	6.3	35.7
Óptimo ⁺⁺	20 - 30	4 - 10	-----

⁺AFD= agua fácilmente disponible, AR= agua de reserva, ADD= agua difícilmente disponible.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

5.1.2 Porcentaje de germinación

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación indica significancia ($p = 0.01$) para portainjertos, sustratos y tratamientos de la semilla (con y sin testa), y las interacciones portainjerto-sustrato, portainjerto-semilla, sustrato-semilla y portainjerto-sustrato-semilla (Cuadro 4-A).

En el Cuadro 7 se presenta la comparación de medias de los porcentajes de germinación de semillas (transformados en arcoseno) para los portainjertos, sustratos y tratamiento de la semilla ($p = 0.05$). El portainjerto limón Volkameriano presentó mayor porcentaje de germinación (90.8 %), seguido de mandarino Cleopatra (59.3 %) y en último lugar mandarino Amblicarpa (48.3%); el sustrato Germinaza® presentó mayor porcentaje de germinación (76.3 %), a continuación Agromix® (63.4 %) y en último lugar turba (58.8 %); y, la semilla con testa presentó mayor porcentaje de germinación (78.6 %) que la semilla sin testa (53.7 %).

Cuadro 7. Porcentaje de germinación por portainjerto, sustrato y tratamiento a la semilla.

Portainjerto	Ger. ⁺ (%)	Sustrato	Ger. ⁺ (%)	Semilla	Ger. ⁺ (%)
mandarino Cleopatra	59.3 b	turba	58.8 b	con testa	78.6 a
limón Volkameriano	90.8 a	Germinaza®	76.3 a	sin testa	53.7 b
mandarino Amblicarpa	48.3 c	Agromix®	63.4 b		
DMS⁺⁺	6.7		6.7		4.5

⁺Ger=germinación,

⁺⁺DMS= diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

El mayor porcentaje de germinación que se obtuvo para limón Volkameriano, resulta similar a lo que encontraron Martins y Silva (2006) en semillas de mandarino (*Citrus reticulata* Blanco) sometidas a diferentes tratamientos de deshidratación; por su parte, Dantas *et al.* (2010) obtuvieron 65.5 % de germinación en semillas de lima Rangpur, almacenadas por seis meses.

Diversos trabajos con cítricos muestran mejor germinación en semillas sin testa (Fortes 2002; Oliveira y Scivittaro 2007; Oliveira *et al.* 2006; Radhamani *et al.* 1991; Soetisna *et al.* 1985; Wiltbank *et al.* 1995; Zucareli *et al.* 2009), a diferencia de lo encontrado en el presente trabajo. Una explicación de éste resultado es que en el presente caso se realizó la eliminación de la testa antes del llenado de tubetes, lo que llevó mucho tiempo y, por consiguiente, las semillas estuvieron en refrigeración más de una semana, lo que pudo haber afectado al embrión y provocado menores porcentajes de germinación.

También cabe indicar que Razz y Clavero (2003), trabajando en semillas de *Pithecellobium dulce* con diferentes tratamientos sembradas en mezcla de turba y fibra de coco (1:2 v/v), obtuvieron 58.2 % de germinación cuando usaron

escarificación física (papel de lija N° 80 durante 5 min), a la vez que Otegui *et al.* (2007) obtuvieron 50.0 % de germinación, en semillas de *Psidium cuneatum* sometidas a eliminación de la testa; los resultados contrastan con Maciel y Briceño (2009) quienes obtuvieron 91.5 y 87% de germinación en semillas de *Syagrus stenopetala* Burret, sin y con testa, respectivamente, sembradas en mezcla de aserrín de coco y arena (1:1 v/v).

En el cuadro 8 se presenta la comparación de medias para el porcentaje de germinación (transformados en arcoseno) para los portainjertos, sustratos y tratamiento a la semilla en conjunto, a fin de observar posibles interacciones entre ellos. En limón Volkameriano no se observaron diferencias entre sustratos y tratamiento a la semilla; en mandarino Cleopatra, la semilla con testa presentó menor porcentaje de germinación que con testa, con menor valor en turba que en Germinaza® y Agromix®; en mandarino Amblicarpa, la semilla sin testa no germinó en turba y Agromix®, y en Germinaza® presentó igual germinación que con testa.

Cuadro 8. Porcentaje de germinación de tres portainjertos cítricos en tres sustratos y dos tratamientos a la semilla.

Portainjerto	Sustrato	Tratamiento a la semilla	Germinación (%)
mandarino Cleopatra	turba	con testa	65.0 bcd
		sin testa	30.0 e
	Germinaza®	con testa	75.0 abcd
		sin testa	60.0 cd
	Agromix®	con testa	75.0 abcd
		sin testa	50.5 de
limón Volkameriano	turba	con testa	90.0 ab
		sin testa	95.0 a
	Germinaza®	con testa	87.5 ab
		sin testa	90.0 ab
	Agromix®	con testa	97.5 a
		sin testa	85.0 abc
mandarino Amblicarpa	turba	con testa	72.5 abcd
		sin testa	0.0 f
	Germinaza®	con testa	72.5 abcd
		sin testa	72.5 abcd
	Agromix®	con testa	72.5 abcd
		sin testa	0.0 g
DMS⁺			25.7

⁺ DMS=diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

Schäfer *et al.* (2005) en *Poncirus Trifoliata*, citrange Troyer, citrumelo Swingle y lima Rangpur, establecidos en tres sustratos comerciales y una mezcla de cáscara de arroz, estiércol bobino y tierra negra, no encontraron efecto en la interacción sustrato-portainjerto en el porcentaje de germinación. Villegas-Monter y Andrade-Rodríguez (2005) obtuvieron en mandarino Cleopatra 75 % de germinación en semillas extraídas recientemente, sembradas en turba y agrolita (1:1 v/v), resultados similares a los de esta investigación con semillas de tres meses de almacenamiento.

5.1.3 Tiempo de germinación

El análisis de varianza para el número de días que germinó la mayoría de las semillas de portainjertos cítricos, indica que no hubo significancia ($p = 0.01$), (Cuadro 5-A).

El Cuadro 9 presenta la comparación de medias para el tiempo promedio de germinación, por portainjertos, sustratos y tratamiento de la semilla ($p = 0.05$). Sin considerar el valor atípico de 69.3 días para el portainjerto mandarina Cleopatra en el sustrato Agromix®, no se observaron diferencias claras en el tiempo promedio de germinación de los portainjertos en los distintos sustratos; sin embargo, para la turba el tiempo promedio de germinación en los tres portainjertos fue de 27.1 días en semillas con testa y de 20.8 para semillas sin testa; para la Germinaza® éstos valores fueron de 24.9 y 26.8 días; y para Agromix®, excluyendo mandarina Cleopatra fue de 24.3 y 29.7 días, respectivamente. De ésta manera, se observa que las semillas sin testa germinaron antes en turba (6.3 días), y en Germinaza® y Agromix® germinaron algunos días más tarde (1.9 y 5.4 días).

Cuadro 9. Tiempo promedio de germinación de tres portainjertos, con dos tratamientos a la semilla, sembradas en tres sustratos.

Tratamiento			Tiempo promedio de germinación (días)
Portainjerto	Sustrato	Tratamiento a la semilla	
mandarino Cleopatra	turba	con testa	27.3 d
		sin testa	24.0 c
	Germinaza®	con testa	23.7 bc
		sin testa	26.0 cd
		Agromix®	con testa
	sin testa	20.8 ab	
limón Volkameriano	turba	con testa	29.0 de
		sin testa	19.5 a
	Germinaza®	con testa	22.5 bc
		sin testa	31.3 e
		Agromix®	con testa
	sin testa	29.7 de	
mandarino Amblicarpa	turba	con testa	25.0 cd
		sin testa	19.0 a
	Germinaza®	con testa	28.5 de
		sin testa	23.0 bc
		Agromix®	con testa
	sin testa	29.7 de	
DMS⁺			3.2

⁺ DMS=diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

Villegas-Monter y Andrade-Rodríguez (2005) encontraron en semillas de mandarino Cleopatra con diferentes tratamientos químicos y contenido de humedad, una germinación promedio a los 28 días. Siquiera *et al.* (2002) observaron promedios de germinación inicial de 80.0 %. Razz y Clavero (2003) mencionan que a mayor tiempo de almacenamiento, las altas temperaturas y humedad inducen a una reducción de la germinación por el progresivo deterioro de la calidad de la semilla, debido posiblemente a la muerte embrionaria.

Cabe mencionar que aunque no se obtuvieron altos porcentajes de germinación en semillas sin testa, éstas iniciaron primero su germinación en relación con aquellas con testa (Cuadro 10). El portainjerto mandarino Cleopatra presentó germinación de la primera semilla sin testa a los 12 días y 19 días con testa, con 7 días de diferencia; el limón Volkameriano presentó germinación a los 10 días para semillas sin testa y 16 días en semillas con testa, con 6 días de diferencia; y, en mandarino Amblicarpa la primera semilla germinó a los 15 días para semillas sin testa y 18 días con testa, con 3 días de diferencia.

Resultados de Oliveira *et al.* (2006), mencionan que el tratamiento de eliminación manual de la testa promueve mayor porcentaje de germinación y encontraron que Trifoliata a los 15 y 30 días después de la siembra, presentó 30.9 y 97.9% de germinación, en semillas sin testa y 4.6 y 69.8 % en semillas con testa. Wiltbank *et al.* (1995), encontraron que la germinación en Trifoliata ocurrió entre los 9 y 84 días en ausencia de la testa y entre los 17 y 101 días en presencia de ésta, con porcentajes finales de germinación de 100 y 81.2 %, respectivamente. Resultados similares fueron encontrados por Radhamani *et al.* (1991). Se puede considerar que la eliminación de la testa en semillas, es una alternativa para reducir el tiempo de germinación, en este trabajo se obtuvieron de 3 hasta 7 días de diferencia en la germinación a favor de las semillas sin testa; sin embargo, es importante indicar que las semillas sin testa son más sensibles al manejo y si no se tienen las medidas necesarias pueden ser afectados los porcentajes finales de germinación.

Cuadro 10. Días para la germinación de la primera semilla para los portainjertos cítricos.

Portainjerto	Semilla	
	sin testa	con testa
mandarino Cleopatra	12	19
limón Volkameriano	10	16
mandarino Amblicarpa	15	18

5.1.4 Conclusiones

El mayor porcentaje de germinación se encontró para el portainjerto limón Volkameriano (90.8 %), el sustrato Germinaza® (76.3 %) y las semillas con testa (78.6 %).

En la interacción portainjerto-semilla-sustrato, el limón Volkameriano presentó mayor germinación para los tres sustratos y los tratamientos a la semilla, mandarino Cleopatra presentó mayor germinación en semillas con testa sembradas en turba, Germinaza® y Agromix®, y mandarino Amblicarpa solo presentó germinación en semillas sin testa sembradas en Germinaza®, pero no en turba y Agromix®.

No se observaron diferencias claras en el tiempo de germinación entre los portainjertos; sin embargo, en turba, las semillas sin testa germinaron antes que las semillas con testa, y en Germinaza® y Agromix®, las semillas sin testa germinaron algo más tarde que las semillas con testa, a la vez que también más tarde que en la turba.

Las semillas sin testa iniciaron su germinación antes que las semillas con testa, y la diferencia de germinación entre semillas con y sin testa fue entre 6 y 7 días para los portainjertos limón Volkameriano y mandarino Cleopatra y 3 días para el portainjerto mandarino Amblicarpa.

5.2 Experimento II

5.2.1 Determinación de propiedades físico-químicas y retención de agua

En el Cuadro 11 se presentan los valores de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, y los valores considerados como óptimos por Abad *et al.* (1993). Al hacer mezclas de materiales las características físicas y químicas se modificaron: la densidad aparente (D_a) estuvo dentro del óptimo y fue más alta en los sustratos con tepojal, de 0.32 a 0.48 g cm⁻³; la densidad real (D_r) varió de 1.1 a 2.2 g cm⁻³, siendo más alta en los sustratos con Germinaza® y tepojal; la porosidad total (PT) varió entre 64 y 87 %; la porosidad de aire (PA) presentó valores dentro del óptimo para la mayoría de los sustratos y solo en Germinaza®-tepojal (60-40% vol.) se obtuvo 8 %; el pH fue más alto en Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), con valores de 6.5 y 6.1, seguido por Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), con valores de 5.7 y 5.6, después las mezclas de turba-tepojal (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), las mezclas de turba-vermiculita (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), Germinaza® sola con valores entre 4.5 y 5.3, y finalmente turba sola, con un valor de 3.6; la conductividad eléctrica (CE) fue baja para las mezclas con turba y turba sola, con valores menores de 0.45 dS m⁻¹, excepto para los sustratos con Germinaza®, para los cuales varió entre 1.2 y 2.22 dS m⁻¹, y con un valor de 3.16 dS m⁻¹ para Germinaza® sola.

Cuadro 11. Propiedades físico-químicas de los sustratos.

Sustrato	Propiedad físico-química ⁺					
	Da	Dr	PT	PA	pH	CE (dS m ⁻¹)
	(g cm ⁻³)		(% vol.)			
turba-Ve (80-20%, vol.)	0.12	1.45	87	14	4.8	0.17
Germinaza®-Ve (60-40%, vol.)	0.12	2.05	85	10	6.5	1.20
turba-Ve (60-40%, vol.)	0.15	1.73	64	16	5.3	0.24
Germinaza®-Te(80-20%, vol.)	0.32	2.20	86	14	5.6	2.22
turba (100%, vol.)	0.14	1.24	84	14	3.6	0.45
turba-Te (60-40%, vol.)	0.37	1.91	76	15	4.7	0.06
Germinaza® (100%, vol.)	0.07	1.10	73	18	4.8	3.16
Germinaza®-Ve (80-20%, vol.)	0.08	1.54	83	11	6.1	1.40
Germinaza®-Te(60-40%, vol.)	0.48	2.01	75	8	5.7	1.58
turba-Te (80-20%, vol.)	0.32	1.67	78	10	4.5	0.17
Óptimo ⁺⁺	<0.4	1.4-2.6	>85	10-30	5.2-6.3	0.75-3.5

⁺Da= densidad aparente, Dr= densidad real, PT= porosidad total, PA=porosidad de aire, CE= conductividad eléctrica, Ve=vermiculita, Te=tepojal.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

En el Cuadro 12 se presentan los valores de retención de agua a diferentes tensiones de columna de agua y de porosidad de aire y total de los sustratos, indicando para éstos últimos los valores considerados como óptimos por Abad *et al.* (1993). La porosidad de aire (PA) fue alta en turba y Germinaza®, de 33.7 y 30.8 %, y los sustratos que estuvieron dentro del nivel óptimo fueron turba-tepojal (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y turba-vermiculita (80-20%, vol.), con valores entre 20.4 y 28.9 %, a la vez que abajo del óptimo estuvieron turba-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), con 17.6 y 12.7 %; el espacio poroso total (EPT) fue menor al óptimo para turba-vermiculita (60-40%, vol.), Germinaza®, Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), con porcentajes entre 64 y 78 %, ligeramente menor que el óptimo en Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y turba, de 83 y 84 %, y en el óptimo estuvieron Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.), Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.) y turba-vermiculita (80-20%, vol.), con 85, 86 y 87 %, respectivamente.

Cuadro 12. Retención de agua y porosidad de los sustratos.

Sustrato	Retención de agua (% vol.)				PA ⁺	EPT ⁺
	0	10	50	100		
	cm c. a.				(% vol.)	
turba-vermiculita (80-20%, vol.)	74	66.5	40.9	33.1	20.4	87
Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.)	75	63.7	42.5	37.0	21.2	85
turba-vermiculita (60-40%, vol.)	48	46.4	30.5	26.8	17.6	64
Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.)	72	71.0	53.1	39.8	12.7	86
turba (100%, vol.)	70	50.3	34.7	29.5	33.7	84
turba-tepojal (60-40%, vol.)	62	55.3	37.5	27.1	20.7	76
Germinaza® (100%, vol.)	55	42.1	27.5	19.2	30.8	73
Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.)	72	55.4	36.5	28.1	27.6	83
Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.)	67	46.1	30.1	20	28.9	75
turba-tepojal (80-20%, vol.)	68	54.7	34.6	27.9	23.4	78
Óptimo ^{**}	-----	-----	-----	-----	20-30	>85

*PA= Porosidad de aire, EPT= Espacio poroso total.

**Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

A partir de los valores de retención de agua se construyeron las curvas de retención de agua para los sustratos, las que se presentan en las figuras 5, 6, 7 y 8, y se obtuvieron los valores de agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD), mismos que se presentan en el Cuadro 13, en el cual, además se indican los valores considerados como óptimos por Abad *et al.* (1993).

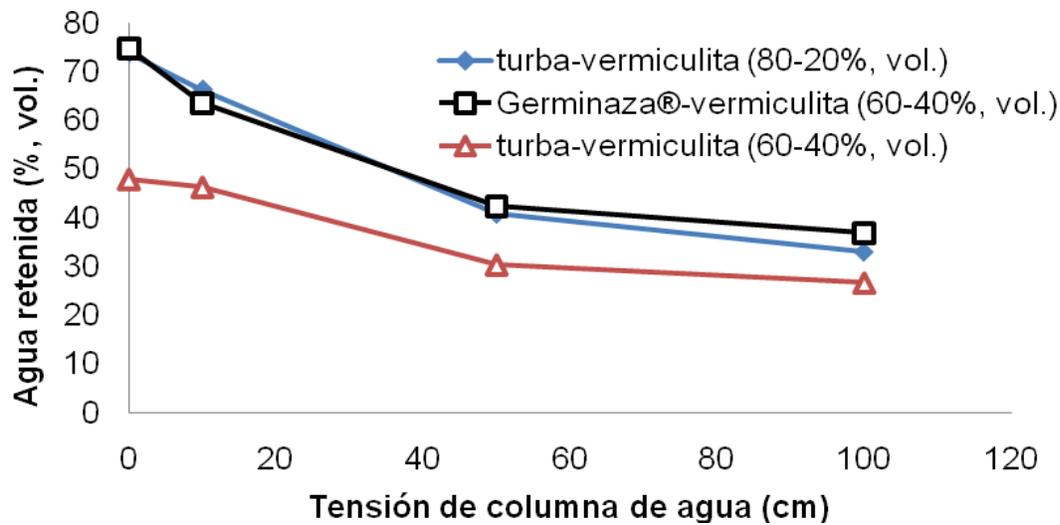


Figura 5. Curva de retención de agua de tres sustratos.

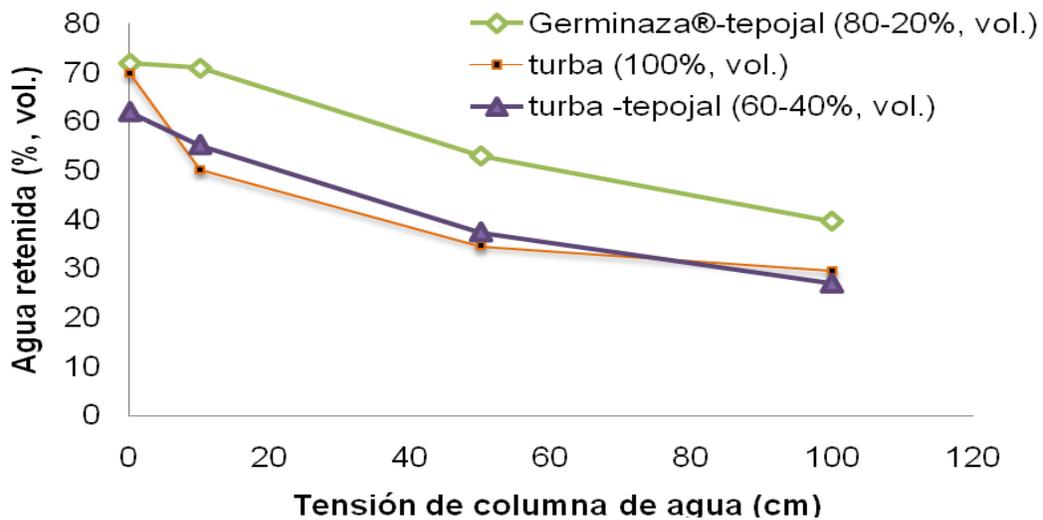


Figura 6. Curva de retención de agua de tres sustratos.

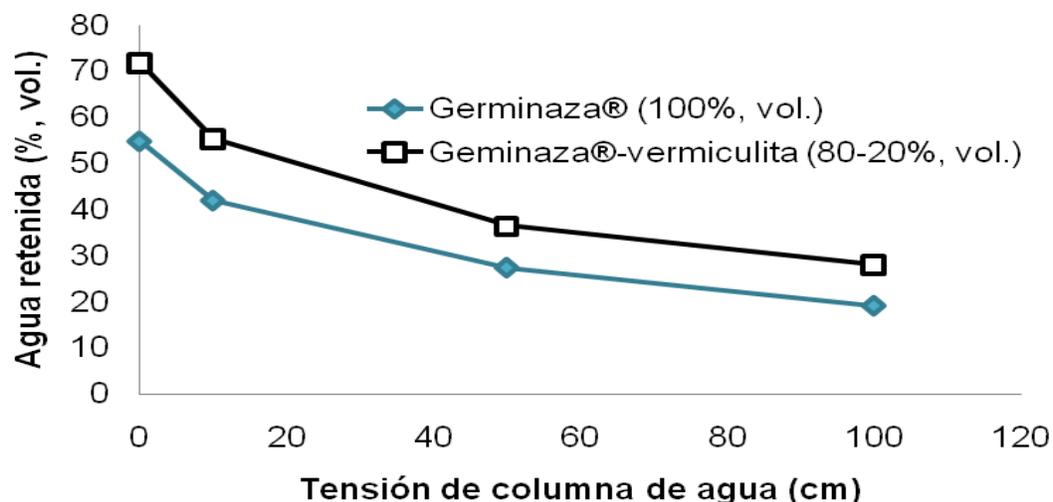


Figura 7. Curva de retención de agua de dos sustratos.

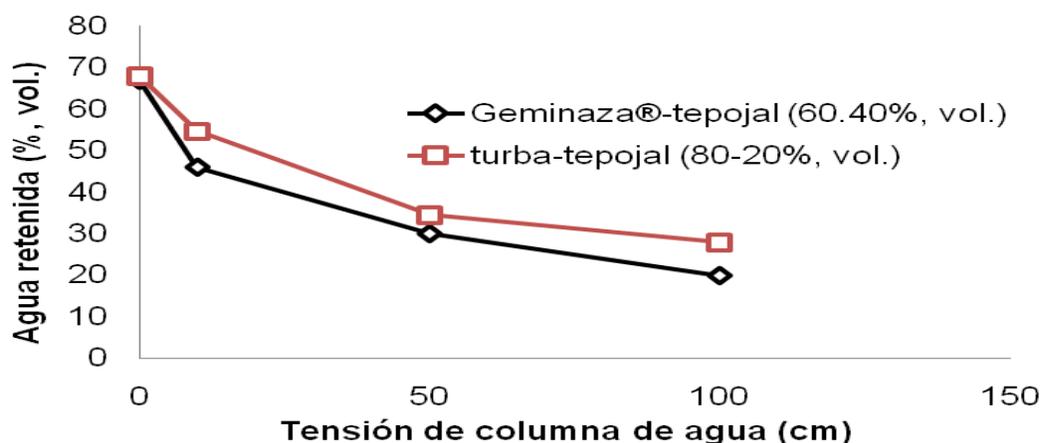


Figura 8. Curva de retención de agua de dos sustratos.

El AFD se encontró dentro del óptimo en turba-vermiculita (80-20%, vol.), Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.), turba y Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), que presentaron 25.6, 21.2, 20.1 y 20.1 %, respectivamente, ligeramente abajo del óptimo en Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.), con 18.9 %, y abajo del óptimo estuvo turba-tepojal (60-40%, vol.), Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y turba-

vermiculita (60-40%, vol.), 17.8, 16 y 15.9 %, respectivamente, y Germinaza® y turba con 14.6 y 15.6 %; el AR se encontró alta en Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), con 13.3 %, ligeramente arriba del óptimo en turba-tepojal (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), con 10.4 y 10.1 %, en el óptimo en turba, Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y (80-20%, vol.), turba con tepojal y vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®, con valores entre 5.2 y 8.4 %, y abajo del óptimo estuvo turba-vermiculita (60-40%, vol.), con 3.7 %. El ADD presentó valores entre 19.2 y 39.8 %.

Cuadro 13. Agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible, de los sustratos.

Sustrato	Agua retenida (% vol.) ⁺		
	AFD	AR	ADD
turba-vermiculita (80-20%, vol.)	25.6	7.8	33.1
Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.)	21.2	5.5	37.0
turba-vermiculita (60-40%, vol.)	15.9	3.7	26.8
Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.)	20.1	13.3	39.8
turba (100%, vol.)	15.6	5.2	29.5
turba-tepojal (60-40%, vol.)	17.8	10.4	27.1
Germinaza® (100%, vol.)	14.6	8.3	19.2
Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.)	18.9	8.4	28.1
Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.)	16.0	10.1	20.0
turba-tepojal (80-20%, vol.)	20.1	6.7	27.9
Óptimo ⁺⁺	20 - 30	4 - 10	-----

⁺AFD= Agua fácilmente disponible, AR= Agua de reserva, ADD= Agua difícilmente disponible.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

5.2.2 Porcentaje de germinación

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación indica significancia ($p = 0.01$) para portainjertos y sustratos, y no significativo para la interacción portainjerto-sustrato (Cuadro 6-A).

En el Cuadro 14 se presenta la comparación de medias de los porcentajes de germinación (transformados en arcoseno) para los portainjertos y sustratos ($p = 0.05$). El portainjerto mandarina Amblicarpa presentó mayor porcentaje de germinación (73.0 %), seguido de citrómelo Swingle (63.5 %), después mandarina Cleopatra (42.9%), y el último fue limón Volkameriano (33.0 %). Los sustratos que contienen turba sola o en sus mezclas, presentaron mayores porcentajes de germinación, con 59.3 %, en comparación con los sustratos que contienen Germinaza®, con 46.8 %.

Cuadro 14. Porcentaje de germinación para portainjertos y sustratos.

Portainjerto	Ger. ⁺ (%)	Sustrato	Ger. ⁺ (%)
citrómelo Swingle	63.5 b	turba-vermiculita (80-20%, vol.)	58.5 abc
mandarina Cleopatra	42.9 c	Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.)	46.8 de
limón Volkameriano	33.0 d	turba-vermiculita (60-40%, vol.)	54.2 abcd
mandarina Amblicarpa	73.0 a	Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.)	50.5 bcde
		turba (100%, vol.)	61.9 a
		turba-tepojal (60-40%, vol.)	60.5 ab
		Germinaza® (100%, vol.)	42.9 e
		Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.)	44.7 de
		Germinaza®-tepojal (60-40 %, vol.)	49.2 cde
		turba-tepojal (80-20%, vol.)	62.1 a
DMS⁺⁺	5.2		10.3

⁺Ger=germinación,

⁺⁺DMS=diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

Los resultados de germinación encontrados en el presente trabajo difirieron en relación con otros trabajos; Así, Gravina (1986) y Rodriguez *et al.* (1986) indican valores de 80 a 92% de germinación en mandarina Cleopatra; Martínez *et al.* (2006), usando cultivo *in vitro*, obtuvieron en C 35, citrumelo Swingle y limón Volkameriano 93, 95 y 96 % de germinación, respectivamente; Schäfer *et al.* (2005) en los portainjertos Trifoliata, citrange Troyer, citrumelo Swingle y lima Rangpur con semillas sembradas en sustratos comerciales, obtuvieron una germinación de 96.7, 93.3, 97.1 y 98.3 %, respectivamente; Zucareli *et al.* (2009), trabajando con semillas de citrumelo Swingle que tenían 13, 16, 28, 35, 43 y 48 % de humedad, observaron que la germinación disminuyó a 72 % en semillas con 35 % de humedad y a 40 % en semillas con 13 % de humedad; Nava *et al.* (1996) usando tierra de monte y agrolita (3:1 v/v) en cajas de madera de 40 x 60 x 25 cm a cielo abierto, obtuvieron 68.1, 50.5, 32.4 y 30.1 % de germinación en mandarina Cleopatra, naranjo Agrio, citrange Carrizo y Troyer, respectivamente.

La comparación de medias de los porcentajes de germinación (transformados en arcoseno) para la interacción portainjerto-sustrato ($p = 0.05$) indica que: citrumelo Swingle y mandarina Amblicarpa, en los sustratos a base de turba sola y en sus mezclas y los sustratos a base de Germinaza® presentaron porcentajes de germinación similares, con la excepción germinaza® sola, que presentó valores inferiores para citrumelo Swingle; y, en mandarina Cleopatra y limón Volkameriano, los sustratos a base de turba sola y en sus mezclas presentaron porcentajes promedio de germinación de 51.8 y 43.7 %, respectivamente, y los sustratos de Germinaza® sola y sus mezclas presentaron valores promedio de 34.0 y 22.5 %, respectivamente, por tanto inferiores (Cuadro 15).

Cuadro 15. Porcentaje de germinación en cuatro portainjertos en 10 sustratos.

Portainjerto	Sustrato	Germinación (%)
citrumelo Swingle	turba-vermiculita (8-2v/v)	63.4 abcdefghi
	Germinaza®-vermiculita(6-4v/v)	60.8 abcdefghi
	turba-vermiculita (6-4v/v)	60.1 abcdefghi
	Germinaza®-tepojal(8-2 v/v)	71.3 abcde
	turba	67.3 abcdefgh
	turba-tepojal (6-4v/v)	68.4 abcdefg
	Germinaza®	50.8 defghijklm
	Germinaza®-vermiculita(8-2v/v)	60.9 abcdefghi
	Germinaza®-tepojal(6-4v/v)	61.7 abcdefghi
	turba-tepojal(8-2v/v)	70.7 abcdef
mandarino Cleopatra	turba-vermiculita (8-2v/v)	52.2 cdefghijkl
	Germinaza®-vermiculita(6-4v/v)	28.2 lmn
	turba-vermiculita (6-4v/v)	45.0 fghijklmn
	Germinaza®-tepojal(8-2 v/v)	30.8 klmn
	turba	57.6 abcdefghij
	turba-tepojal (6-4v/v)	49.5 fghijklm
	Germinaza®	32.7 jklmn
	Germinaza®-vermiculita(8-2v/v)	39.0 ijklmn
	Germinaza®-tepojal(6-4v/v)	39.2 ijklmn
	turba-tepojal(8-2v/v)	54.5 bcdefghijk
limón Volkameriano	turba-vermiculita (8-2v/v)	44.3 ghijklmn
	Germinaza®-vermiculita(6-4v/v)	22.1 n
	turba-vermiculita (6-4v/v)	37.8 ijklmn
	Germinaza®-tepojal(8-2 v/v)	22.5 n
	turba	42.1 hijklmn
	turba-tepojal (6-4v/v)	45.0 fghijklmn
	Germinaza®	22.7 n
	Germinaza®-vermiculita(8-2v/v)	19.6 n
	Germinaza®-tepojal(6-4v/v)	25.6 mn
	turba-tepojal(8-2v/v)	49.3 efg hijklm
mandarino Amblicarpa	turba-vermiculita (8-2v/v)	74.1 abcde
	Germinaza®-vermiculita(6-4v/v)	76.2 abcd
	turba-vermiculita (6-4v/v)	74.1 abcde
	Germinaza®-tepojal(8-2 v/v)	77.5 abc
	turba	80.8 a
	turba-tepojal (6-4v/v)	79.0 ab
	Germinaza®	65.5 abcdefgh
	Germinaza®-vermiculita(8-2v/v)	59.2 abcdefghi
	Germinaza®-tepojal(6-4v/v)	70.4 abcdef
	turba-tepojal(8-2v/v)	74.1 abcd
DMS⁺		25.8

⁺ DMS=diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

5.2.3 Poliembrionía

A partir del número de plántulas obtenidas por semilla, se determinó la poliembrionía. En el cuadro 16 se presentan los resultados obtenidos para los cuatro portainjertos; el limón Volkameriano presentó el mayor número de semillas no poliembriónicas, de 87.1 %, seguido de mandarina Cleopatra y citrumelo Swingle, con 72.7 y 72.6 %, y por último mandarina Amblicarpa con 51.2 %. Por otro lado, el portainjerto mandarina Amblicarpa presentó 46.3 % de semillas con dos plántulas, seguido por mandarina Cleopatra y citrumelo Swingle con 26.4 y 24.8 %, y el portainjerto limón Volkameriano presentó 12.7 % de semillas con dos plántulas; el número de semillas con tres y cuatro plántulas fue bajo para los cuatro portainjertos, variando de 0 a 2.4 %.

Cuadro 16. Porcentaje de semillas poliembriónicas en los portainjertos cítricos.

Portainjerto	Poliembrionía (%) ⁺			
	NP	P2	P3	P4
citrumelo Swingle	72.6	24.8	2.4	0.2
mandarina Cleopatra	72.7	26.4	0.8	0.1
limón Volkameriano	87.1	12.7	0.2	0.0
mandarina Amblicarpa	51.2	46.3	2.3	0.1

⁺NP= no poliembriónicas, P2= germinación de dos plántulas, P3=germinación de tres plántulas, P4= germinación de cuatro plántulas.

Prates (1981), citado por Andrade-Rodríguez (2002), menciona que el limón Volkameriano es un portainjerto de poliembrionía media; Andrade-Rodríguez *et al.* (2005) encontraron variación de poliembrionía en mandarina Cleopatra, de 79.4 a 90.1 %; Soares Filho *et al.* (1995) obtuvieron poliembrionía en mandarina Clementina, mandarina Sunki, lima Rangpur y limón Volkameriano, de 1.4, 15.9, 35.2 y 58.6 %, respectivamente; Villegas-Monter y Wikert (1999) encontraron 64.0, 77.7 y 78.0% de poliembrionía en cítricos; Ramos *et al.* (2006) mencionan que citrumelo Swingle y Trifoliata presentaron 48.1 y 31.5 % de poliembrionía; Schäfer *et al.*

(2005), en semillas de Trifoliata, citrange Troyer, citrumelo Swingle y limón Cravo, encontraron 9.9, 67, 39.5, y 12.7 % de poliembrionía, respectivamente; Andrade-Rodríguez (2002) en mandarino Cleopatra y mandarino Amblicarpa encontró 85.5 y 82.1 % de poliembrionía.

En la Figura 9 se presenta la poliembrionía total para los cuatro portainjertos cítricos, considerando que se encontraron hasta cuatro plántulas por semilla. En mandarino Amblicarpa se observó 48.8 % de poliembrionía, seguido por citrumelo Swingle y mandarino Cleopatra con porcentajes similares, de 27.4 y 27.3 %, y el último lugar lo ocupó el limón Volkameriano, con 12.9 % de poliembrionía.

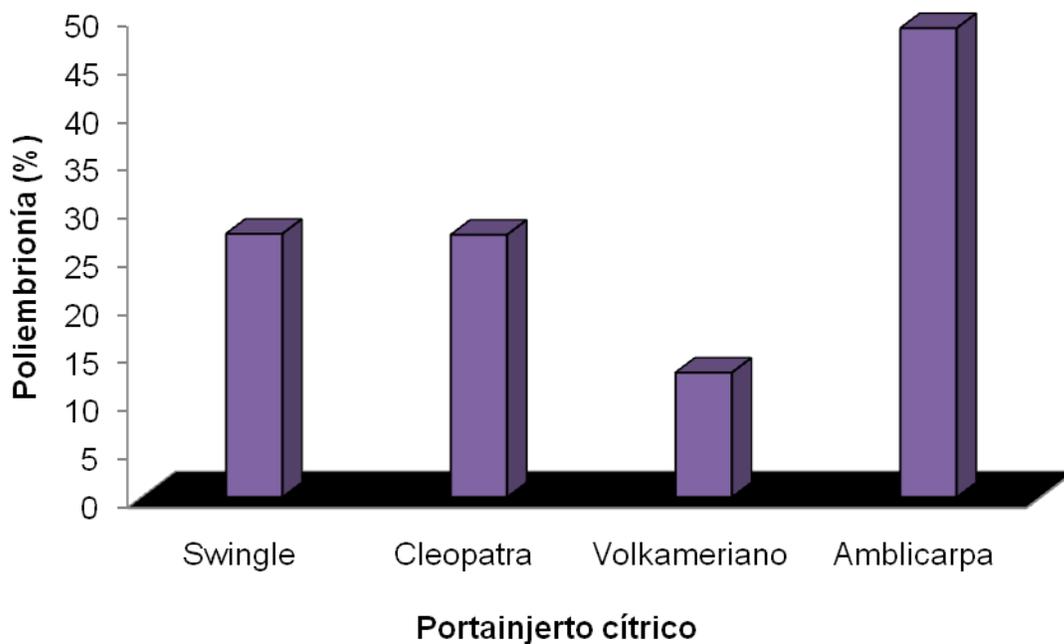


Figura 9. Porcentaje de poliembrionía en los portainjertos cítricos.

5.2.4 Conclusiones

El portainjerto mandarino Amblicarpa presentó mayor porcentaje de germinación de semillas (73.0 %), seguido por citrumelo Swingle (63.5 %), y en último lugar se ubicaron mandarino Cleopatra (42.9 %) y limón Volkameriano (33.0 %).

Los sustratos a base de turba sola o en sus mezclas y los sustratos a base de Germinaza®, presentaron similar porcentaje de germinación en los portainjertos citrumelo Swingle, mandarino Amblicarpa; en cambio, en mandarino Amblicarpa y limón Volkameriano, en sustratos a base de turba presentaron mayor porcentaje de germinación que los sustratos a base de Germinaza®.

El portainjerto mandarino Amblicarpa presentó mayor porcentaje de poliembrionía (48.7 %), y el limón Volkameriano presentó menor porcentaje de poliembrionía (12.9 %), y con valores intermedios se ubicaron citrumelo Swingle (27.6 %) y mandarino Cleopatra (27.3 %).

5.3 Experimento III

5.3.1 Propiedades químicas de sustratos

En el Cuadro 17 se presentan los valores iniciales y finales (después de haber separado las raíces del sustrato) de pH y conductividad eléctrica (CE) de los sustratos, y su comparación con los valores considerados como óptimos por Abad *et al.* (1993).

Con excepción para la turba-tepojal (80-20%, vol.), los sustratos incrementaron su pH al final del experimento, con valores de 4.6 hasta 7.4, y con mayores incrementos para los sustratos con Germinaza® y turba sola, debido a la fertilización; la CE al final del experimento disminuyó en los sustratos con Germinaza® y turba sola, con valores de 0.10 a 0.20 dS m⁻¹, los sustratos con turba incrementaron ligeramente su CE, sin superar los valores considerados como óptimos.

Cuadro 17. Valor inicial y final de pH y conductividad eléctrica de los sustratos.

Sustrato	pH		CE (dS m ⁻¹) ⁺	
	Inicial	final	inicial	final
turba-vermiculita (80-20%, vol.)	4.8	5.2	0.17	0.20
Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.)	6.5	7.4	1.20	0.20
turba-vermiculita (60-40%, vol.)	5.3	5.7	0.24	0.28
Germinaza-tepojal (80-20%, vol.)	5.6	5.0	2.22	0.13
turba (100%, vol.)	3.6	4.6	0.45	0.10
turba-tepojal (60-40%, vol.)	4.7	4.8	0.06	0.15
Germinaza® (100%, vol.)	4.8	0.0	3.16	0.00
Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.)	6.1	6.3	1.40	0.13
Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.)	5.7	6.9	1.58	0.10
turba-tepojal (80-20%, vol.)	4.5	4.4	0.17	0.21
Óptimo ⁺⁺	5.2 - 6.3		0.75 - 3.5	

⁺CE= conductividad eléctrica.

⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

Para Germinaza®, el pH y CE al final del experimento no se consideró, debido a que las plantas germinadas en este sustrato no se usaron para este experimento.

5.3.2 Respuesta a portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas

El análisis de varianza para las variables número de hojas, longitud de tallo, diámetro de cuello de raíz, peso de materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz y área foliar, indicó significancia ($p = 0.01$) para los tratamientos de portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas, y para longitud de raíz no presentó significancia (Cuadro 7-A a 17-A).

5.3.3 Portainjertos

En el Cuadro 18 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por portainjertos ($p = 0.05$). El portainjerto citrumelo Swingle presentó los mayores promedios para todas las variables medidas, excepto para número de hojas donde fueron mejores mandarina Amblicarpa y Cleopatra, a la vez que el portainjerto mandarina Cleopatra dió resultados iguales en longitud de tallo, y limón Volkameriano fue similar en área foliar; los portainjertos que presentaron valores más bajos de las variables fueron: mandarina Cleopatra en peso de materia fresca de tallo y diámetro de cuello, limón Volkameriano en longitud de tallo y número de hojas, mandarina Amblicarpa en área foliar, peso de materia fresca de hoja y raíz y peso de materia seca de raíz. Los demás valores de las variables evaluadas en los distintos portainjertos se encuentran en niveles intermedios.

Sin embargo, los resultados suelen variar según el portainjerto y condiciones de crecimiento. Schäfer (2000) encontró que citrumelo Swingle presentó mayor altura que citrange Troyer y Trifoliata, Schäfer *et al.* (2006b) observaron mayor diámetro de tallo en los portainjertos C37, Trifoliata, C13 y Troyer, Carvalho y Souza (1996) obtuvieron menor altura y diámetro de tallo en mandarina Cleopatra y Fochesato *et al.* (2006) encontraron mayor altura en citrange C13 y lima Rangpur que en Trifoliata.

Cuadro 18. Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por portainjertos.

Portainjerto	Longitud (cm)		Núm. de hojas	Área foliar (cm ²)	Peso de materia fresca (g)			Peso de materia seca (g)			Diámetro de cuello (mm)
	Tallo	Raíz			Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz	
citrumelo Swingle	16.0 a	16.7 a	12.4 b	5.8 a	1.4 a	1.0 a	2.1 a	0.4 a	0.4 a	0.5 a	3.9 a
mandarino Cleopatra	16.0 a	15.4 b	14.0 a	4.6 b	1.3 b	0.5 d	1.1 c	0.3 b	0.2 b	0.3 c	2.5 d
limón Volkameriano	11.0 c	15.4 b	12.0 b	6.1 a	1.4 a	0.7 b	1.7 b	0.3 b	0.2 b	0.4 b	3.2 b
mandarino Amblicarpa	12.7 b	16.1 a	14.7 a	3.9 c	1.0 c	0.6 c	0.8 d	0.3 b	0.2 b	0.2 d	2.7 c
DMS⁺	0.48	0.68	0.72	0.31	0.09	0.09	0.13	0.05	0.05	0.05	0.13

*DMS= diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

5.3.4 Sustratos

En el Cuadro 19 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas en los portainjertos, por sustrato ($p = 0.05$). Los sustratos que presentaron mayor longitud de tallo fueron turba-tepojal (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), y los que presentaron valores menores fueron Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.); en longitud de raíz, presentaron valores mayores los sustratos turba-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (60-40%, vol.), Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y valores menores los sustratos Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y turba; los sustratos que presentaron mayor número de hojas fueron Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.), y el menor valor fue para Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.); en área foliar los mejores sustratos fueron turba-vermiculita (60-40%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.), y los peores fueron turba-tepojal (80-20%, vol.), Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.); para peso de materia fresca de hoja mayores valores presentaron los sustratos turba-tepojal (60-40%, vol.), Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), y menores valores los sustratos turba, Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.); el peso de materia fresca de tallo fue mayor para turba-tepojal (60-40%, vol.), Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.) y turba-vermiculita (60-40%, vol.), y menor para Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.), turba-tepojal (80-20%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.); los sustratos que presentaron mayor peso de materia fresca de raíz fueron turba-tepojal (60-40%, vol.) y turba-vermiculita (80-20%, vol.), y los valores menores fueron para Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.), para peso de materia seca en hoja los mejores sustratos fueron turba-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), y el peor fue Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.), el peso de materia seca en tallo fue mayor en los sustratos Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.),

turba-vermiculita (60-40%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.), y menor en los sustratos Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.), Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.), Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.), turba-tepojal (80-20%, vol.) y turba; el sustrato que presentó mayor peso de materia seca de raíz fue turba-tepojal (60-40%, vol.), y el menor fue Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.); y, el diámetro de cuello fue mayor en los sustratos Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.), turba-vermiculita (80-20%, vol.), turba-vermiculita (60-40%, vol.), turba-tepojal (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (80-20%, vol.) y menor en los sustratos turba-tepojal (80-20%, vol.), turba sola, Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-vermiculita (80-20%, vol.).

La variación de los valores de las variables estudiadas, entre sustratos, es algo común de observar en la práctica. Así, González *et al.* (2000) encontraron mayor altura de plantas de citrange Carrizo en sustratos de suelo-turba-Germinaza®, suelo-Germinaza® y suelo solo, a la vez que suelo-Germinaza® proporcionó mayor número de hojas, diámetro de tallo, área foliar, peso de materia seca de la parte aérea y volumen radical de las plantas, y suelo-Germinaza® y suelo-turba-Germinaza® favorecieron la altura de citrange Troyer; Fochesato *et al.* (2007) y Schäfer *et al.* (2006b), encontraron buenos índices de desarrollo de las plantas de portainjertos cítricos en turba; y, Girardi y Mourão Filho (2004) y Setín *et al.* (2009), trabajando con naranja Valencia sobre dos portainjertos, encontraron que a los 8, 12 y 14 meses después de plantados, el citrumelo Swingle presentó mayor diámetro de tallo que lima Rangpur, variable que es importante porque indica el momento en que los portainjertos cítricos están aptos para ser injertados.

Si bien los resultados muestran variaciones entre las variables evaluadas, según los sustratos, el sustrato que mostró un mejor comportamiento en todas las variables fue turba-tepojal (60-40%, vol.), seguido por Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) en nueve de once variables, a la vez que los sustratos turba vermiculita (80-20%, vol.) y turba vermiculita (60-40%, vol.) mostraron buen comportamiento en siete y cinco variables, respectivamente.

Cuadro 19. Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por sustratos.

Sustrato ⁺	Longitud (cm)		Núm. de hojas	Área foliar (cm ²)	Peso de materia fresca (g)			Peso de materia seca (g)			Diámetro de cuello (mm)
	Tallo	Raíz			Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz	
Ge-Ve (80-20%, vol.)	10.9 e	16.1 a	12.3 b	3.5 d	1.0 ef	0.6 cd	1.0 de	0.3 b	0.2 b	0.3 c	2.7 b
Ge-Te (80-20%, vol.)	12.1 d	16.3 a	13.3 b	4.8 c	1.3 bc	0.7 bc	1.2 d	0.3 b	0.2 b	0.3 c	3.2 a
Ge-Ve(60-40%, vol.)	9.4 f	14.8 b	10.5 c	4.0 d	0.9 f	0.5 d	0.8 e	0.2 c	0.2 b	0.2 d	2.8 b
Ge-Te (60-40%, vol.)	15.0 ab	16.1 a	15.5 a	5.7 ab	1.6 a	0.9 a	1.5 c	0.4 a	0.3 a	0.3 c	3.3 a
Tu-Ve (80-20%, vol.)	14.4 bc	16.0 ab	15.1 a	5.5 b	1.4 b	0.8 ab	1.8 ab	0.4 a	0.3 a	0.4 b	3.3 a
Tu-Ve (60-40%, vol.)	13.6 c	16.3 a	12.9 b	6.1 a	1.2 cd	0.8 ab	1.5 c	0.3 b	0.3 a	0.4 b	3.3 a
turba (100%, vol.)	12.4 d	14.8 b	12.6 b	5.2 bc	1.1 de	0.7 bc	1.5 c	0.3 b	0.2 b	0.3 c	2.9 b
Tu-Te (60-40%, vol.)	15.6 a	16.5 a	14.9 a	6.0 a	1.7 a	0.9 a	1.9 a	0.4 a	0.3 a	0.5 a	3.3 a
Tu-Te (80-20%, vol.)	12.6 d	15.9 ab	12.6 b	5.0 c	1.2 cd	0.6 cd	1.6 bc	0.3 b	0.2 b	0.3 c	2.9 b
DMS^{**}	0.88	1.25	1.30	0.56	0.16	0.17	0.23	0.04	0.03	0.05	0.24

⁺Ge=Germinaza®, Tu=turba, Ve=vermiculita, Te= tepojal.

^{**}DMS= diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

5.3.5 Soluciones nutritivas

En el Cuadro 20 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas en los portainjertos para las soluciones nutritivas ($p = 0.05$). La solución nutritiva de mejor comportamiento en invernadero fue la del viverista; y, para las variables evaluadas, con las excepciones de peso de materia seca de tallo y raíz, fue mejor la solución de Steiner al 25%, y en peso de materia seca de hoja la solución de Steiner en sus dos concentraciones; por otra parte, en longitud de raíz las tres soluciones presentaron un comportamiento similar, en diámetro de cuello la solución de Steiner al 50 % fue similar a la del viverista, y no se observaron mayores diferencias entre la solución de Steiner al 25 y 50 %.

Estas diferencias a favor de la solución nutritiva del viverista se pueden deber a la mayor concentración de N, sin descartar que también tiene una mayor concentración de P y otros componentes como clorhidrato de tiamina, agentes de penetración, fitohormonas, folcisteína y ácido húmico.

La nutrición de la planta en etapa temprana al desarrollo, está ampliamente demostrada (Barroso *et al.*, 2000; Carvalho y Souza, 1996; Decarlos *et al.*, 2002; Esposti y Siqueira, 2004), siendo muy importante los macronutrientes como el N, P, y K (Bernardi *et al.*, 2000; Serrano *et al.*, 2004; Vale *et al.*, 2009), tal como lo señalan Bernardi *et al.* (2000) y Prado *et al.* (2008) en cuanto a las aplicaciones de N, P y K, que incrementaron la altura, diámetro de tallo, área foliar y masa seca de hojas, tallo y raíz en plantas de naranja Valencia, injertada sobre citrumelo Swingle y limón Cravo, respectivamente; a su vez, Rozane *et al.* (2007) mencionan que aplicaciones de N, P y K en citrumelo Swingle, originaron mayor altura, diámetro de tallo, área foliar, masa seca de la parte aérea y del sistema radicular.

Cuadro 20. Variables evaluadas en los portainjertos cítricos, por solución nutritiva.

Solución nutritiva	Longitud (cm)		Núm. de hojas	Área foliar (cm ²)	Peso de materia fresca (g)			Peso de materia seca (g)			Diámetro de cuello (mm)
	Tallo	Raíz			Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz	
Steiner al 25%	10.7 c	15.8 a	11.8 c	4.2 b	0.9 c	0.5 c	1.3 c	0.4 a	0.4 a	0.5 a	2.9 b
Steiner al 50%	11.9 b	16.0 a	13.3 b	4.5 b	1.0 b	0.6 b	1.4 b	0.4 a	0.2 b	0.3 c	3.1 a
Viverista	16.1 a	15.9 a	14.8 a	6.6 a	1.9 a	0.9 a	1.6 a	0.3 b	0.2 b	0.4 b	3.2 a
DMS⁺	0.38	0.54	0.57	0.24	0.07	0.07	0.10	0.02	0.02	0.02	0.105

⁺DMS= diferencia mínima significativa.

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, p=0.05).

5.3.6 Concentraciones nutrimentales en parte aérea

Las plantas difieren en sus necesidades nutrimentales, según la especie y la etapa de desarrollo, y una manera de estudiar el estado nutrimental en un momento dado es con base en las concentraciones de nutrimentos en las hojas o en la planta completa cuando se encuentra en las primeras etapas de desarrollo.

En el Cuadro 21 se presentan concentraciones nutrimentales en parte aérea de los portainjertos cítricos para portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas, y los valores considerados como óptimos según Embleton *et al.* (1967), indicándose los niveles bajos, óptimos y excesivos en el Cuadro 18-A.

El N presentó valores excesivos para los cuatro portainjertos, los sustratos Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y la solución Steiner al 25 % y la del viverista, y valores medios altos para el sustrato turba-tepojal (60-40%, vol.) y la solución Steiner al 50 %. El P presentó valores en exceso para los cuatro portainjertos, los sustratos Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.) y la solución del viverista, y valores medios altos para el sustrato Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y las soluciones Steiner al 25 y 50 %; el K presentó valores excesivos para los cuatro portainjertos, y los sustratos Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y para las soluciones Steiner al 25 y 50 %, y valores medios altos para turba-tepojal (60-40%, vol.) y la solución del viverista; el Ca presentó valores deficientes para los cuatro portainjertos, los tres sustratos y las tres soluciones nutritivas; el Mg presentó valores medios bajos para los cuatro portainjertos, los sustratos Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y valores óptimos para el sustrato turba-tepojal (60-40%, vol.), a su vez para las soluciones nutritivas Steiner al 25 y 50 % los valores fueron deficientes; el S presentó valores medios bajos para los cuatro portainjertos, excepto para citrumelo Swingle que estuvo dentro del óptimo, valores medios bajos para los sustratos Germinaza®-vermiculita (60-40%, vol.) y turba-tepojal (60-40%, vol.) y las soluciones nutritivas Steiner al 25 y 50

%, y valores óptimos para Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y la solución del viverista; el B presentó valores medios altos para los cuatro portainjertos, los tres sustratos y las tres soluciones nutritivas; el Fe presentó valores óptimos para los cuatro portainjertos, los tres sustratos y las tres soluciones nutritivas; el Mn presentó valores medios alrededor del límite entre deficientes y óptimos, con un valor ligeramente mayor para el sustrato turba-tepojal (60-40%, vol.); el Zn presentó valores óptimos para los cuatro portainjertos, los tres sustratos y las tres soluciones nutritivas; y, el Cl se presentó deficiente para todos los portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas.

Cuadro 21. Concentración nutrimental en parte aérea de portainjertos cítricos, por portainjerto, sustrato y solución nutritiva.

Factor	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Cl
	----- (g kg ⁻¹) -----										
PORTAINJERTO											
citrumelo Swingle	30.3	2.5	17.1	12.4	2.3	2.2	0.17	0.09	0.03	0.03	0.06
mandarino Cleopatra	33.5	2.8	18.1	14.0	2.4	1.8	0.18	0.09	0.03	0.03	0.06
limón Volkameriano	33.6	3.1	22.6	12.6	2.2	1.8	0.18	0.10	0.03	0.03	0.07
mandarino Amblicarpa	33.0	2.7	19.7	11.7	1.8	1.8	0.15	0.09	0.02	0.03	0.06
SUSTRATO⁺											
Ge-Ve (60-40%, vol.)	38.1	2.4	21.0	9.1	1.4	1.7	0.15	0.07	0.01	0.02	0.05
Ge-Te (60-40%, vol.)	31.0	2.7	24.1	12.3	2.1	2.4	0.15	0.10	0.03	0.03	0.07
turba-Te (60-40%, vol.)	28.7	3.2	13.0	16.6	3.0	1.6	0.21	0.11	0.05	0.03	0.07
SOLUCIÓN NUTRITIVA											
Steiner al 25%	33.2	2.4	20.1	12.8	2.0	1.7	0.17	0.09	0.03	0.03	0.07
Steiner al 50%	28.8	2.3	21.2	12.4	1.9	1.6	0.17	0.09	0.02	0.03	0.06
Viverista	35.8	3.5	16.8	12.8	2.5	2.3	0.17	0.09	0.03	0.03	0.06
Óptimo^{**}	24-26	1.4-1.6	9-12	30-60	2.5-6	2-4	0.03-0.1	0.06-0.12	0.025-0.2	0.025-0.1	<3

*Ge=Germinaza®, Ve= vermiculita, Te= tepojal.

**Valores óptimos, según Embleton *et al.* (1967).

Schäfer (2000) y Decarlos *et al.* (2002) mencionan que la fertilización en semillero es fundamental y debe realizarse cuidadosamente. Como ejemplo de esto, se confirmó que aunque se aplicó nitrógeno en pequeñas cantidades, se encontraron niveles excesivos en las hojas; además, la fertilización con altos contenidos de potasio en el sustrato puede afectar la absorción de calcio, conllevando a niveles limitantes en la planta, como el que se observó.

Las diferencias nutrimentales que se encontraron entre los portainjertos cítricos se debe probablemente a sus características genéticas; éstas influyen la capacidad de empleo de energía, luz, dióxido de carbono, lo que interfiere en la absorción, el transporte, la distribución e interacción entre los nutrientes dentro de la planta. Gallo *et al.* (1960), Carvalho y Souza (1996) y Schäfer *et al.* (2006a), encontraron en análisis nutrimentales de hoja de portainjertos C37, Trifoliata y lima Rangpur cantidades similares de N, Ca y Mg, mayores cantidades de K y menores en P. Scivittaro *et al.* (2004b) realizaron aplicaciones de fertilizante de liberación lenta en Trifoliata, y encontraron cantidades bajas de macros y micronutrientes. Pérez (2004) hizo determinaciones en hojas de naranja Valencia injertada en 16 portainjertos, entre ellos limón Volkameriano y mandarino Cleopatra, encontrando similares resultados a los de esta investigación en N, P y Mn. Maust y Williamson (1994) y Decarlos *et al.* (2002) indican que las plantas de cítricos presentan diferente respuesta a N en relación a las variedades. Para Serrano *et al.* (2004), la incorporación de fertilizante de liberación lenta de N, P y K (Osmocote® 14-14-14) al sustrato, aumentó los niveles foliares de N en lima Rangpur. Scivittaro *et al.* (2004a) observaron que aplicaciones de N en lima Rangpur, incrementó la acumulación de éste, y mencionan que puede haber interacción antagónica entre P y N. Ruschel *et al.* (2004) encontraron disminución en la acumulación de N con el aumento de las dosis de P. Estudios indican que dosis elevadas de N pueden ser perjudiciales, proporcionando mayor susceptibilidad al ataque de plagas y antagonismo iónico. Bernardi *et al.* (2000) y Vale *et al.* (2009) demostraron efectos de la aplicación de N y P, y de N y K afectado por los niveles de P y K.

5.3.7 Conclusiones

De los cuatro portainjertos utilizados, el citrumelo Swingle presentó mejor desarrollo durante la fertilización y mayores valores en todas las variables de la planta, excepto número de hojas, donde fue mejor e igual mandarina Cleopatra y mandarina Amblicarpa.

Los sustratos Germinaza®-tepojal (60-40%, vol.) y turba-tepojal (80-20%, vol.) presentaron los mayores valores para la mayoría de las variables de la planta, mostrando mayores valores para longitud de tallo y diámetro de cuello.

La solución nutritiva formulada por el viverista presentó mejor comportamiento en la mayoría de las variables de la planta, con mayor valor en longitud de tallo y diámetro de cuello; y, en longitud de raíz no hubo diferencias entre soluciones nutritivas. De las tres soluciones nutritivas, se observó en invernadero mayor calidad de planta en la solución del viverista en comparación con la solución de Steiner al 25 y 50 %.

Las concentraciones nutrimentales en parte aérea de la planta presentaron valores para los portainjertos, sustratos y soluciones nutritivas: excesivos, ó cercanos a estos, para N, P, K y B; deficientes para Ca y Cl; bajos, ó cercanos a estos, para Mg y S; y, óptimos, ó cercanos a estos, para Fe, Mn y Zn.

6. LITERATURA CITADA

- Abad M, P F Martínez, M D Martínez, J Martínez (1993) Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Horticulturae*. 11:141- 154.
- Agustí F M (2003) *Citricultura*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 21-30.
- Alcántar G G, M Sandoval V (1999) Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, Méx., México. 156 p.
- Andrade R M (2002) Poliembrionía e identificación de plántulas cigóticas y nucelares de tres portainjertos y un cultivar de cítricos mediante RAPD'S. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. pp: 58-60.
- Andrade-Rodríguez M, A Villegas-Monter, M A Gutiérrez-Espinoza, G Carrillo-Castañeda, A García-Velázquez (2005) Polembryony and Rapd Markers for identification of zygotic and nucellar seedling in citrus. *Agrociencia*. 39:371 - 383
- Ansorena J (1994) *Sustratos. Propiedades y Caracterización*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Bailey D A, C Fonteno W, V Nelson P (2005) Greenhouse substrates and fertilization. NC State University Hort. Info.<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/> (Fecha de consulta: julio de 2010).
- Baldassari R B, A Goes, F Tannuri (2003) Declínio dos citros: algo a ver como sistema de produção de mudas cítricas. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25:357-360.
- Barroso D G, G A Carneiro J, S S Leles P (2000) Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes sustratos. *Floresta e Ambiente*. 7:238- 250.
- Bernardi A C C, A C Carmello Q, A Carvalho S (2000) Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. *Scientia Agricola*. 57:733-738.
- Carvalho S A, M Souza, (1996) Doses e freqüência de aplicação de nitrato de potássio no crescimento do limoeiro- 'Cravo' e da tangerineira-'Cleópatra' em bandejas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 31:815-822.

- Carvalho S A, C D Graf C, R Violante A (2005) Produção de material básico e propagação. Citros. No. 10 Instituto Agronômico e Fundag. Campinas. pp: 281-311.
- Dantas B I, R Guimarães M, E V Von Pinho R, M L Carvalho M (2010) Osmotic priming methodologies in relation to the physiological performance of Rangpur lime seeds (*Citrus limonia* Osbeck). Revista Brasileira de Sementes. 32:141-151.
- De Boodt M, O Verdonck, I Cappaert (1974) Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae. 37:2054-2062.
- Decarlos N A, L Siqueira D, R G Pereira P, H Alvarez V (2002) Crescimento de porta-enxertos de citros em tubetes influenciados por doses de N. Revista Brasileira de Fruticultura. 24:199-203.
- Duenhas H L, R Bôas V, C Souza, M Oliveira, A Dalri (2005) Produção, qualidade dos frutos e estado nutricional da laranja valência sob fertirrigação e adubação convencional. Engenharia Agrícola. 25:154-160.
- Embleton T, W Jones, C Labanauskas, W Reuther (1967) Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilisation. In: *The Citrus Industry*, Reuther W, H J Webber, L D Batchelor. (Eds). University of California, USA. pp:183-210.
- Esposti M D D, L Siqueira D (2004) Doses de uréia no crescimento de porta-enxerto de citros produzidos em recipientes. Revista Brasileira de Fruticultura. 26:136-139.
- Fermino H (2003) Métodos de Análise para caracterização física de substratos para plantas. Tesis de doutorado en Fitotenia. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. pp: 31-33.
- Fortes A M T (2002) Efeito de reguladores vegetais na propagação de *Poncirus Trifoliata* (L.) Raf. var. monstrosa, Flying Dragon. Tese Doutorado em Ciências Biológicas – Fisiologia Vegetal, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, Brasil. 98 p.
- Fochesato L M, P V Souza D, G Schäfer, H Maciel S (2006) Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos. porta-enxertos e substratos comerciais. Ciência Rural. 36:1397-1403.
- Fochesato L M, P V Souza D, G Schäfer, H Maciel S (2007) Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em substratos comerciais. Ciência Rural. 37:970-975.
- Gallo J R, S Moreira, O Rodriguez, G Fraga Jr C (1960). Influência da variedade e do porta-enxerto na composição mineral das folhas de citros. Bragantia. 19:307-318.

- Girardi E A, A A Mourão Filho F (2004) Crescimento inicial de laranjeira 'Valência' sobre dois porta-enxertos em função da adubação nitrogenada no plantio. *Revista Brasileira Fruticultura*. 26:117-119.
- Gravina A (1986) Características viverísticas de nueve portainjertos de cítricos. Resúmenes del XI Congreso Nacional de Fitogenética. Guadalajara, Méx. 154 p.
- González-Chávez M C, R Ferrera-Cerrato, A Villegas-Monter, J L Oropeza (2000) Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. *Zac-19. Terra*. 18:369-377.
- INEGI (2005) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Dirección General de Geografía. Coordinación de Desarrollo de Proyectos. Subdirección de Actualización de Marco Geoestadístico. www.inegi.gob.mx/prod_serv/..espanol/bvinegi/.../2005/agenda2005.pdf (Fecha de consulta: mayo de 2010).
- Kämpf A N (2000) Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária. 254 p.
- Kämpf A N (2002) O uso de substrato em cultivo protegido no agronegócio brasileiro. In: Furlani, A. M. C., Bataglia, O. C., Abreu, M. F., Abreu, C. A., Furlani, P. R., Quaggio, J. A., Minami, K. (Coord.). Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas. pp: 1-6.
- Landis T D, R Tinus W, S McDonald E, J Barnett P (1990) The Container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbook 674*. Washington, DC. EUA. Department of Agriculture, Forest Service. 2:41-89.
- Leal L P, M Martins A, L Dodruigues A, J Schiavo A (2005) Crescimento de mudas micropropagadas de bananeira micorrizadas em diferentes recipientes. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 27:84- 87.
- Leite Jr R P (1992) Cultivares de copa e porta-enxertos. In: IAPAR. A citricultura no Paraná. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná. pp: 91-116.
- Maciel N, A Briceño (2009) Effect of fruit ripening, seed scarification and temperature on seedling emergence of *Syagrus stenopetala* Burret. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26:196-211.
- Martínez H M J, A Alonso L, F Osorio A, F Gallardo L, H López M, M Mata R (2006) Cultivo in vitro de patrones cítricos tolerantes al virus de la tristeza, empleando sustratos inertes alternativos al Agar. *Interciencia*. 31:616-619.
- Martins L, W Da Silva R (2006) Comportamento fisiológico de sementes de tangerina (*Citrus reticulata* Blanco) submetidas à desidratação. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 28:8-10.

- Maust B E, G Williamson J (1994) Nitrogen nutrition of containerized citrus nursery plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria. 119:195-201.
- Mendonça V, S E Neto A, J Ramos D, R Pio, T C Gontijo A (2003) Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'sunrise solo'. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25:127-130.
- Natale W, J Marchal (2002) Absorção e redistribuição de nitrogênio (N) em *Citrus mitis* B11. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24:183-188.
- Nava A J, A Villegas-Monter, F Barrientos P, A Martínez G, (1996) Comportamiento en vivero de tres portainjertos tolerantes a la tristeza de los cítricos. *Agrociencia*. 30:573-576.
- Noguera P, M Abad, V Noguera, R Puchades, A Maquieira (2000) Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*. 517:279-288.
- Oliveira R P, B Scivittaro W (2003) Normas e padrões para produção de mudas certificadas de citros em parceria com a Embrapa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 18 p.
- Oliveira R P, B Scivittaro W, B Radmann E (2003) Procedimentos para o armazenamento de sementes de *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25:461-463.
- Oliveira R P, B Scivittaro W (2004) Infra-estrutura e custo de produção de mudas certificadas de citros. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 27 p.
- Oliveira P R, B Scivitaro W, B Radmann E (2006) Escarificação química da semente para favorecer a emergência e o crescimento do porta-enxerto Trifoliata. *Pesquisa agropecuária brasileira*. 41:1429-1433.
- Oliveira R P, B Scivittaro W (2007) Formação do porta-enxerto Trifoliata, época de semeadura e tegumento na emergência de plântulas. *Ciência Rural*. 37:281-283.
- Oropeza J, T Russián (2008) Efecto del vermicompost, sobre el crecimiento, en vivero, de la naranja 'criolla' sobre tres patrones. *agronomía trop*. 58:289-297.
- Otegui M, C Sorol, A Fleck, G Klekailo (2007) Madurez fisiológica, germinación y conservación de semillas de guayabito (*Psidium cuneatum* Camb. - Myrtaceae). *Revista Brasileira de Sementes* 29:160-169.
- Pérez Z O (2004) Concentración nutrimental en hojas, rendimiento, eficiencia de producción, calidad de jugo e índices nutrimentales de naranjo valencia injertado en portainjertos de cítricos. *Agrociencia*. 38:141-154.

- Pompeu Jr J, S Blumer (2009) Híbridos de Trifoliata como porta-enxertos para a laranjeira 'Valência'. Pesquisa agropecuária brasileira. 44:701-705.
- Prado M R, D Rozane E, G Camarotti S, M A Correia R, W Natale, C Barbosa J, A Beutler N (2008) Nitrogênio, Fósforo e Potássio na nutrição e na produção de mudas de laranjeira valência, enxertada sobre *Citrumelo* swingle. Revista Brasileira Fruticultura. 30:812-817.
- Prates H S (1981) Determinação preliminar de poliembrião e número médio de embriões, em sementes de citrus e afins, do Banco Ativo de germoplasma do Instituto Agrônomo de Campinas. VI Congr. Bras. Frut. pp: 563-568.
- Radhamani J, K Malik S, P S Chandel K (1991) Seed-coat characteristics in relation to the physiology of seed-germination in *Citrus* and its allied genus. Seed Science and Technology. 19:611-621.
- Ramos D J, S E Neto A, E N Castro A, P C Martin C, M Correia G (2006) Poliembrião e caracterização de frutos de *Citrumelo* swingle e de *Poncirus trifoliata*. Ciênc. agrotec., Lavras. 30:88-91.
- Razz R G, C T Clavero (2003) Effect of scarification, soaking and storage time on germination of *Pithecellobium dulce*. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 20:180-187.
- Rodríguez N, H Lima, M Álvarez, A Sigarrosa (1986) Efecto de los factores climáticos sobre el proceso de la geminación en el Naranja Agrio (*Citrus aurantium*). Habana, Cuba. Memorias Simp. Int. Citricultura Tropical. 1: 247-262.
- Rozane D E, M Prado R, W Natale, N Beutler A, R Da Silva S, C Barbosa J (2007) Nitrogênio, Fósforo e Potássio afetando a nutrição e produção de porta-enxerto de limoeiro *Citrumelo* swingle. Ceres. 54:422-429.
- Ruschel J, C C Quirino A, C C Bernardi A, A Carvalho S, D Mattos Jr (2004) Concentrações foliares do portaenxerto limoeiro 'Cravo' em função da adubação N, P, K, Ca e S. Scientia Agricola. 61:501-506.
- SAGARPA (2006) Avances del programa de Reconversión Citrícola. [http://www.concitver.com/DIPLO-MATERIAL-PROPAGATIVO/3.%20%20Avances%20del%20programa%20de%20reconv](http://www.concitver.com/DIPLO-MATERIAL-PROPAGATIVO/3.%20%20Avances%20del%20programa%20de%20reconversion.pdf)ersion.pdf (Fecha de consulta: septiembre de 2010).
- Sánchez A H M, P L Robles G, J P Delgado C (2005) Programa nacional de certificación de cítricos en México, antecedentes, resultados y perspectivas. Dirección de Protección Fitosanitaria de la Dirección General de Sanidad Vegetal, SENASICA-SAGARPA. Coyoacán, México, D. F.

- Schäfer G (2000) Caracterização molecular, diagnóstico e avaliação de porta-enxertos na citricultura gaúcha. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pósgraduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 81 p.
- Schäfer G (2004) Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Curso em Pósgraduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 129 p.
- Schäfer G, P V Souza D, R H Daudt S, A L Dornelles C (2005) Substratos na emergencia de plantulas e expressao da poliembrionía em porta-enxertos de citros. *Ciencia Rural*. 35:741-744.
- Schäfer G, P V Souza D, O Koller C, S Schwarz F (2006a) Desarrollo vegetativo de patrones cítricos cultivados en condiciones de invernadero bajo dos sistemas de riego. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 28:227-230.
- Schäfer G, P V Souza D, O Koller C, S Schwarz F (2006b) Desenvolvimento vegetativo inicial de porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes substratos. *Ciência Rural*. 36:1723- 1729.
- Schiavo J A, A Martins M (2002) Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), inoculados com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*, em substrato agroindustrial. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24:519-523.
- Scivittaro W B, R Oliveira P, E Radmann B (2004a) Adubacao nitrogenada na formacao de porta-enxertos de limoneiro Cravo em tubetes. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26:131-135.
- Scivittaro B W, R Oliveira P, E Radmann B (2004b) Doses de fertilizante de liberaçãõ lenta na formação do porta-enxerto trifoliata. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26:520-523.
- Serrano L A L, S Marinho C, J C Carvalho A, H Monnerat P (2004) Efeito de sistemas de produção e doses de adubo de liberaçãõ lenta no estado nutricional de porta-enxerto cítrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26:524-528.
- Setín W D, S Carvalho A, D Júnior M (2009) crescimento inicial e estado nutricional da laranjeira 'valência' sobre porta-enxertos múltiplos de limoeiro Cravo e *Citrumelo* swingle. *Bragantia*. 68:397-406
- Siqueira D L, F F Vasconcellos J, C F Dias D, E Pereira W (2002) Seed germination of citrus rootstocks after cooling conditions storage. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24:317- 322.
- Soares Philo W dos S, L Lee M, A Da Cunha Sobinho P (1995) Influence of pollinators on polyembryony in Citrus. *Acta Horticulturae*. 403:256-265.

- Soetisna U, W King M, H Roberts E (1985) Germination test recommendations for estimating the viability of moist or dry seeds of lemon (*Citrus limon*) and lime (*C. aurantifolia*). *Seed Science and Technology*. 13:87-110.
- Souza P V D (1995) Optimización de la producción de plantones de cítricos en vivero. Inoculación com micorrizas vesiculares-arbusculares. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Técnica Superior de Ingenieros Agrônomos, Universidad Politécnica de Valencia. 201 p.
- Steiner A A (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15:134-154.
- Teixeira L P T, G Schäfer, P V Souza D, A Todeschini (2009) Desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em diferentes recipientes. *Ciência Rural*. 39:1695-1700.
- Vale D W, M Prado R, A Souza H, B G Martins A (2009) Doses de Nitrogênio, Fósforo e Potássio na nutrição do portaenxerto cítrico de limoeiro Cravo. *Scientia Agraria, Curitiba* 10:061-066.
- Villegas-Monter A (2010) Sustratos para viveros frutícolas: Casos cítricos. PREGEP-Fruticultura, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, Edo de México. E-mail avillega@colpos.mx.
- Villegas-Monter A, M Andrade-Rodríguez (2005) Secado y almacenamiento de semillas de mandarina 'Cleopatra'. *Pesquisa agropecuaria brasileira*. 40:79-85.
- Villegas-Monter A, E Wikert (1999) Características morfológicas de frutos y poliembriónia en semillas de portainjertos de cítricos. Manzanillo Colima, México. *Congr. Hort.* 7:163.
- Wiltbank W J, E Rouse R, N Khoi L (1995) Influence of temperature on citrus rootstock seed emergence. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 108:137-139.
- Zanetti M, C Fernandes, O Cazetta J, E Corá J, D Mattos Jr (2003) Características físicas de substratos para produção de mudas cítricas sob telado. *Laranja, (Cordeirópolis)*. 24:519-530.
- Zucareli V, M R Bonjovani, C Cavariani, J Nakagawa (2009) Tolerância à dessecação e influência do tegumento na germinação de sementes de *Citrumelo* 'swingle' (*Citrus paradisi* MACF X *Poncirus trifoliata* (L) RAF.). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 31:291-295.

7. APÉNDICE

Cuadro 1-A. Distribución de los tratamientos del experimento I, en un diseño experimental completamente al azar (el primer número de la columna indica el portainjerto, el segundo el tratamiento de la semilla con y sin testa, y el tercero el sustrato).

1.-	212	25.-	123	49.-	212	73.-	221
2.-	313	26.-	122	50.-	321	74.-	223
3.-	121	27.-	411	51.-	311	75.-	322
4.-	311	28.-	321	52.-	112	76.-	421
5.-	413	29.-	112	53.-	122	77.-	313
6.-	112	30.-	113	54.-	422	78.-	413
7.-	311	31.-	323	55.-	421	79.-	423
8.-	222	32.-	221	56.-	312	80.-	421
9.-	323	33.-	311	57.-	422	81.-	423
10.-	422	34.-	211	58.-	213	82.-	222
11.-	121	35.-	422	59.-	412	83.-	221
12.-	312	36.-	411	60.-	322	84.-	113
13.-	322	37.-	222	61.-	413	85.-	122
14.-	413	38.-	121	62.-	112	86.-	421
15.-	411	39.-	123	63.-	212	87.-	321
16.-	111	40.-	312	64.-	213	88.-	121
17.-	221	41.-	412	65.-	223	89.-	223
18.-	223	42.-	113	66.-	323	90.-	211
19.-	313	43.-	323	67.-	313	91.-	213
20.-	111	44.-	211	68.-	412	92.-	123
21.-	423	45.-	312	69.-	412	93.-	222
22.-	321	46.-	322	70.-	212	94.-	122
23.-	213	47.-	111	71.-	113	95.-	123
24.-	211	48.-	411	72.-	111	96.-	423

Cuadro 2-A. Tratamiento de los 10 sustratos en un diseño experimental en bloques al azar, para el portainjerto citrumelo Swingle.

Portainjerto	Sustrato y proporción	
citrumelo Swingle	turba-vermiculita.	(80-20%, vol.)
	Germinaza®-vermiculita.	(60-40%, vol.)
	turba-vermiculita.	(60- 40%, vol.)
	Germinaza®-tepojal.	(80-20%, vol.)
	turba	Testigo (100%, vol.)
	turba-tepojal.	(60-40%, vol.)
	Germinaza®	Testigo (100%, vol.)
	Germinaza®-vermiculita.	(80-20%, vol.)
	Germinaza®-tepojal.	(60-40%, vol.)
	turba-tepojal.	(80-20%, vol.)
turba-vermiculita.	(80-20%, vol.)	

Cuadro 3-A. Tratamiento de las tres soluciones nutritivas, en un diseño experimental en bloques completos al azar, para el portainjerto citrumelo Swingle, sembrado en Germinaza®- vermiculita (80-20%, vol.).

Sustrato	Portainjerto	Solución nutritiva
Germinaza®- vermiculita (80-20%, vol.)	citrumelo Swingle	Steiner al 25%
		Steiner al 50%
		viverista

Cuadro 4-A. Análisis de varianza de un modelo completamente al azar, para el porcentaje de germinación de portainjertos cítricos (experimento I).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Portainjerto (Port)	2	11691.7	5845.9	143.07	0.0001
Sustrato (Sust)	2	1970.9	985.4	24.12	0.0001
Semilla (Sem)	1	5600.0	5600.0	137.05	0.0001
Portainjerto*Sustrato	4	2435.9	608.9	14.90	0.0001
Portainjerto*Semilla	2	3266.7	1633.4	39.97	0.0001
Sustrato*Semilla	2	1950.9	975.4	23.87	0.0001
Port*Sust*Sem	4	1932.6	483.2	11.82	0.0001
CV = 9.7, R² = 0.97					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 5-A. Análisis de varianza para el promedio del tiempo de germinación de las semillas (experimento I).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	17	7822.90	460.171	0.83	0.650
Error	42	23236.83	553.258		
Total correcto	59	31059.73			
CV = 83.21, R² = 0.25					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 6-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para porcentaje de germinación de portainjertos cítricos, en las diferentes mezclas de sustratos utilizados (experimento II).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Portainjerto	3	20277.3	6759.1	178.2	0.0001
Sustrato	9	3835.4	426.2	178.2	0.0001
Portainjerto*Sustrato	27	1993.4	73.8	1.95	0.0272
CV = 11.6, R² = 0.94					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 7-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable longitud de tallo (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	11233.67	104.99	36.44	0.0001
Error	540	1555.7	2.89		
Total correcto	647	12789.36			
CV = 13.18 , R² = 0.88					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 8-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable longitud de raíz (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	991.23	9.26	1.60	0.0004
Error	540	3117.93	5.77		
Total correcto	647	4109.16			
CV = 15.14, , R² = 0.24					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 9-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el número de hojas (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	5356.28	50.06	7.95	0.0001
Error	540	3400.33	6.3		
Total correcto	647	8756.61			
CV = 18.89, R² = 0.61					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 10-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para la variable área foliar (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	2418.27	22.60	7.95	0.0001
Error	540	622.35	1.15		
Total correcto	647	3040.62			
CV = 21.12, R² = 0.8					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 11-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia fresca de hoja (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	260.67	2.44	25.06	0.0001
Error	540	52.50	0.09		
Total correcto	647	313.18			
CV = 24.84, R² = 0.83					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 12-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia fresca de tallo (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	80.5	0.75	7.45	0.0001
Error	540	54.54	0.10		
Total correcto	647	135.04			
CV = 45.56, R² = 0.6					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 13-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para peso de materia fresca de raíz (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	333.92	0.75	15.57	0.0001
Error	540	08.24	0.20		
Total correcto	647	442.17			
CV = 31.64, R² = 0.76					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 14-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de hoja (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	20.16	0.19	26.47	0.0001
Error	540	3.84	0.007		
Total correcto	647	24.006			
CV = 25.43, R² = 0.84					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 15-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de tallo (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	9.78	0.09	20.63	0.0001
Error	540	2.39	0.004		
Total correcto	647	12.18			
CV = 27.54, R² = 0.80					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 16-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el peso de materia seca de raíz (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	16.54	0.16	14.35	0.0001
Error	540	5.82	0.01		
Total correcto	647	22.35			
CV = 31.53, R² = 0.74					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 17-A. Análisis de varianza de un modelo en bloques completos al azar, para el diámetro del cuello (experimento III).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr . F
Modelo	107	331.71	3.10	14.40	0.0001
Error	540	116.23	0.22		
Total correcto	647	447.94			
CV = 15.05, R² = 0.74					

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM=cuadrados medios, CV=coeficiente de variación.

Cuadro 18-A. Niveles de deficiencia, óptimo y exceso de elementos para el contenido nutrimental en parte aérea de cítricos, según Embleton *et al.* (1967).

Elemento	Deficiente	Óptimo	Exceso
	----- g kg ⁻¹ -----		
Nitrógeno	<24	24-26	>30
Fósforo	<1.0	1.4-1.6	>2.5
Potasio	<7	9-12	>17
Calcio	<25	30-60	>70
Magnesio	<1.6	2.5- 6.0	>12.0
Azufre	<1.4	2-4	>5
Sodio	---	<1.6	>2.5
Cloro	---	<3	>7
Manganeso	<0.016	0.025-0.20	>0.30
Hierro	<0.036	0.06-0.12	>0.20
Zinc	<0.016	0.025-0.10	>0.30
Cobre	<0.0036	0.005-0.01	>0.15
Boro	<0.015	0.03-0.10	>0.25



Figura 1-A. Extracción de las plantas del tubete y separación de las raíces del sustrato.