



**UNL • FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

MAESTRIA EN CULTIVOS INTENSIVOS

TESIS

**“Evaluación de diferentes residuos de la industria como
componentes de sustratos para la producción de plantas
cítricas bajo cobertura plástica”**

Tesista: Ing. Agr. Carcaño Arturo Federico

Director: M. Sc. Ing. Agr. Víctor Manuel Beltrán

Co- Director: Dr. Ing. Agr. Norberto Francisco Gariglio

Bella Vista - Corrientes – Argentina 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos	2
Índice de General	3
Índice de Figuras	8
Índice de Tablas	11
Resumen	13
Summary	15
1- INTRODUCCIÓN	17
1.1- Los cítricos: características generales	17
1.2- El cultivo de cítricos en Argentina	17
1.2.1- La citricultura en la provincia de Corrientes	17
1.3- Evolución del viverismo	18
1.3.1- El Huanglongbing en la producción de plantas cítricas	20
1.4- Variedades de Portainjertos más utilizados en la zona de Bella Vista	22
1.5- Uso de sustratos en viveros	24
1.5.1- Sustratos regionales	25
1.6- El compostado de los residuos como alternativa para mejorar sus propiedades físicas y físico-químicas	28
2- HIPOTESIS Y OBJETIVOS	31
2.1- Hipótesis	31

2.2- Objetivo general	31
2.3- Objetivo específico	31
3- MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1- Descripción del sitio de estudio	32
3.2- Material Vegetal	34
3.3- Materiales utilizados como fuente de sustrato	36
3.4- Macetas, fertilizantes y sistema de riego utilizado	37
3.5- Tratamientos	38
3.6- Diseño experimental	38
3.7- Análisis de las propiedades físicas y químicas de las mezclas desustratos	39
3.7.1- Propiedades físicas	39
3.7.1.1- Densidad de sustratos y densidad aparente (DS y DAP) (kg m^{-3})	39
3.7.1.2- Granulometría	40
3.7.1.3- Espacio poroso total (EP), capacidad de retención de agua (CRA) y poros con aire (PA)	40
3.7.2- Propiedades químicas	41
3.7.2.1- Potencial Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE)	41
3.7.2.2- Medición de concentración de nutrientes en gramos /litro de sustrato	41
3.7.2.3- Nitrato (NO_3)	41

3.7.2.4- Fosfato (PO ₄)	41
3.7.2.5- Cationes Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ y K ⁺	42
3.8- Propiedades biológicas: Bioensayo de germinación	42
3.9- Variables de crecimiento y desarrollo de los plantines	44
3.9.1- Longitud de tallo	44
3.9.2- Diámetro de tallo	44
3.9.3- Número de hojas	45
3.9.4- Masa fresca y seca aérea y radicular	45
3.9.5- Índice SPAD (Tecnología SPAD CAVADEVICIES)	46
3.9.6- Medición área foliar	46
3.10- Análisis estadístico de los resultados	46
4- RESULTADOS y DISCUSIÓN	49
4.1- Análisis de las propiedades físicas de los Tratamientos (sustratos)	49
4.1.1- Densidad del Sustrato (DS) y Aparente (DA)	49
4.1.2- Humedad (H°)	50
4.1.3- Materia orgánica (% MO)	51
4.1.4- Porosidad de aireación (PA)	53
4.1.5- Capacidad de retención de agua (CRA)	54
4.1.6- Espacio Poroso Total (EPT)	55

4.1.7- Granulometría	57
4.2- Análisis de las propiedades químicas de los Tratamientos (sustratos)	61
4.2.1- Potencial Hidrógeno (pH)	61
4.2.2- Conductividad eléctrica (CE)	63
4.2.3- Nitratos (NO ₃)	64
4.2.4- Fosfatos (PO ₄)	65
4.2.5- Cation Potasio (K ⁺)	66
4.2.6- Cation Calcio (Ca ⁺⁺)	67
4.2.7- Cation Magnesio (Mg ⁺⁺)	67
4.2.8- Cation Sodio (Na ⁺)	68
4.3- Propiedades biológicas	69
4.4- Resultados de la variable de la planta	72
4.4.1- Altura de la planta (AP)	72
4.4.2- Diámetro del tallo (DT)	74
4.4.3- Número de hojas por planta (NH)	75
4.4.4- Índice Spad	76
4.4.5- Masa Fresca (MFT) y Seca (MST) total	79
4.4.6- Masa Fresca (MFR) y Seca (MSR) de Raíz	80
4.4.7- Masa Fresca (MFTa) y Seca (MSTa) de Tallo	80

4.4.8- Masa Fresca (MFH) y Seca (MSH) de Hoja	81
4.4.9- Área foliar	82
5- CONCLUSIONES FINALES	86
6- BIBLIOGRAFÍA	87
7- ANEXOS	103
7.1- Anexo I	103
7.1.1- Densidad de sustrato y densidad aparente	103
7.1.2- Capacidad de retención de agua, Poros con aire y Retención de humedad	104
7.2- Anexo II	110
7.2.1- Altura de planta	110
7.2.2- Diámetro de tallo	111
7.2.3- Número de hojas por planta	112
7.2.4- Clorofila Spad	112
7.3- Anexo III	114
7.3.1- Análisis de la varianza	114
7.3.1.1- Porcentaje de germinación	114
7.3.1.2- Porcentaje de elongación	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- Regiones productoras de cítricos en la provincia de Corrientes: cuenca Bellavistense y Rio Uruguay	18
Figura 2- Vivero a campo cultivado en el suelo	20
Figura 3- Vivero bajo invernadero en la región de Bella Vista (Corrientes) con plantas de limón en macetas	21
Figura 4- Planta y frutas de lima Rangpur (<i>Citrus limonia</i> Osbeck)	22
Figura 5- Planta y frutas de naranjo Agrio (<i>Citrus aurantium</i> L.)	23
Figura 6- Invernadero metálico parabólico del Centro de Incremento Regional (CIR) de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista	32
Figura 7- Vista interior de los Invernaderos de multiplicación de yemas certificadas bajo normativa de SENASA e INASE. Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista	32
Figura 8- Invernadero con antecámara de desinfección, doble puerta de entrada, malla antiáfidos, techo impermeable y media sombra	33
Figura 9- Media sombra al 30% en el interior del invernadero	33
Figura 10- Planta semillera certificada de lima Rangpur (<i>Citrus limonia</i> Osbeck)	34
Figura 11- Almácigo sobre-elevado del portainjerto lima Rangpur	35
Figura 12- Sustrato comercial Grow Mix Multipro, utilizado en el almácigo	35
Figura 13- Siembra de semillas de lima Rangpur a chorrillo continuo	35
Figura 14- Cascarilla de arroz utilizada como fuente de sustrato	36

Figura 15- Aserrín de <i>Eucalyptus</i> sp. en galpones de aserraderos la ciudad de Bella Vista, Corrientes	36
Figura 16- Macetas de polietileno roídas de 3.750 cm ³ , con costillas, ventanas y alas	37
Figura 17- Mezcladora tipo trompito	37
Figura 18- Goteros tipo araña con salida para 4 mangueras, una por maceta	38
Figura 19- Disposición de las plantas	39
Figura 20- Sobrenadante de solución de las mezclas de sustratos	42
Figura 21- Siembra de semillas de lechuga en cajas de Petri	43
Figura 22- Medición de altura de planta con regla milimetrada	44
Figura 23- Medición de diámetro de tallo con calibre digital	44
Figura 24- Balanza utilizada para pesar muestras	45
Figura 25- Estufa utilizada para secar material vegetal para determinación de masa seca	45
Figura 26- Instrumento para la medición del índice Spad	46
Figura 27- Biplot resultante del comportamiento de los tratamientos con respecto a las propiedades físicas	61
Figura 28- Caja de petri con semillas de lechuga germinadas en solución de extracto diluido al 25%	70
Figura 29- Comportamiento de la variable Altura de Planta (AP) por fecha en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas. Estimación tendencia temporal	73
Figura 30- Comportamiento de la variable Diámetro de tallo (DT) por fecha en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas	75

Figura 31- Comportamiento temporal del número de hojas promedio en las en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas	76
Figura 32- Contenido de clorofila (Spad) por planta y por fecha en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas	78
Figura 33- Masa Fresca (MFT; g.pl ⁻¹) y seca (MST; g.pl ⁻¹) total de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos macetas	80
Figura 34- Masa fresca (MFR; g.pl ⁻¹) y seca (MSR; g.pl ⁻¹) de raíz de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos	80
Figura 35- Masa fresca (MFTa; g.pl ⁻¹) y seca (MSTa; g.pl ⁻¹) de tallo de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos	81
Figura 36- Masa fresca (MFH; g.pl ⁻¹) y seca (MSH; g pl-1) de hojas de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos de acuerdo a la composición y proporción de los materiales utilizados	38
Tabla 2- Densidad de sustrato y densidad aparente de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas de cítricos en maceta	50
Tabla 3- Contenido de humedad de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas de cítricos en maceta	51
Tabla 4- Contenido de Materia Orgánica de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	53
Tabla 5- Porosidad de aireación de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	54
Tabla 6- Capacidad de retención de agua de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	55
Tabla 7- Espacio poroso total de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	56
Tabla 8- Distribución del tamaño de partículas (mm) para diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas en maceta	59
Tabla 9- Potencial hidrógeno de los tratamientos de diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas cítricas en macetas	63
Tabla 10- Conductividad eléctrica (CE) medida en los tratamientos de diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas cítricas en macetas	64
Tabla 11- Contenido de NO ₃ medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas cítricas en macetas	65
Tabla 12- Contenido de fosforo PO ₄ de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	65

Tabla 13- Contenido de potasio K^+ de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	66
Tabla 14- Contenido de calcio Ca^{++} de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	67
Tabla 15- Contenido de magnesio Mg^{++} de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	67
Tabla 16- Contenido de sodio Na^+ de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta	68
Tabla 17- Análisis de regresión lineal índice de germinación	70
Tabla 18- Cuadro de análisis de la Varianza índice de germinación (SC tipo III)	70
Tabla 19- Comparaciones múltiples entre tratamientos: Índice de germinación	71
Tabla 20- Contrastes múltiples de las tendencias marginales de la altura de plantines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados	73
Tabla 21- Contrastes múltiples de las tendencias marginales del diámetro de plantines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados	74
Tabla 22- Contrastes múltiples de las tendencias marginales del número de hojas de plantines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados	75
Tabla 23- Contrastes múltiples de las medias marginales del spad en plantines de citrus de las diferentes mezclas de sustratos utilizados en cinco tipos de sustratos	77
Tabla 24- Evaluación del área foliar por planta de los diferentes tratamientos. Análisis de Varianza y Test de madia de Tukey $\alpha=0,05$	82

RESUMEN

Evaluación de diferentes residuos de la industria como componentes desustratos para la producción de plantas cítricas bajo cobertura plástica.

Debido a la aparición en Argentina de la enfermedad del Huanglongbing en el año 2012, se promulgó la ley 26.888, Res. 165-2013-SENASA que establece que se deben producir las plantas cítricas bajo cubierta plástica y mallas antiáfidos, lo que cambió la forma de producción en los viveros cítricos, hacia la obtención de plantas en macetas bajo cobertura plástica. Esto presenta como limitante, la necesidad de identificar sustratos adecuados, que reúnan las características físicas, químicas, biológicas y de disponibilidad regional para la producción eficiente de plantas. Entre los subproductos para la formulación de sustratos para plantas cítricas en maceta en la zona de Bella Vista, provincia de Corrientes (Argentina), se destacan la cascarilla de arroz y el aserrín, como alternativa al suelo actualmente utilizado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas de lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck), utilizando diferentes combinaciones de aserrín de eucaliptos y cascarilla de arroz estacionados. Se estudiaron 5 mezclas de sustrato como tratamientos: (T1) sustrato comercial growmix como testigo, (T2) suelo + cascarilla de arroz también testigo (80-20% v/v), (T3) aserrín + cascarilla de arroz (75-25 % v/v), (T4) aserrín + cascarilla de arroz (50-50% v/v), y (T5) aserrín + cascarilla de arroz (25-75 % v/v). El tratamiento T3 presentó valores muy alentadores en los parámetros evaluados; en cuanto a características físicas, además de un 91,33% de espacio poroso total, 50,33% de poros con aire y 41,33% de capacidad de retención de humedad, siendo estos valores muy similares al sustrato comercial (T1), el cual presentó 90,00% de espacio poroso total, 33,00% de poros con aire, y 59,00% de capacidad de retención de humedad. En cuanto a las propiedades químicas, el tratamiento T3 presentó 3,68 ds.m^{-1} de conductividad eléctrica y 4,94 de pH, siendo estos valores aproximados a los del tratamiento testigo T1 (3,83 ds.m^{-1} y 4,12, respectivamente). Considerando los parámetros de crecimiento y desarrollo, se pudo observar que T3 presentó mayor altura de planta (69,80 cm), alcanzando el diámetro para injerto (3,44 mm) y el mayor número de hojas por planta (23,2) a los 129 días. La mezcla más usada en la actualidad por los viveros de la zona, T2 (tierra y cascarilla 80-20% v/v), mostró los peores parámetros y el menor crecimiento de planta en todas las variables analizadas. En conclusión, la mezcla T3

(75% aserrín y 25% cascarilla v/v) puede ser utilizado para la producción de plantas en macetas. Las mezclas T4 y T5 deberán ser evaluadas nuevamente luego de ser compostadas, complementando así su bajo costo y su amplia disponibilidad.

Palabras claves: Sustrato – *Citrus limonia* – Portainjerto – Plantas cítricas – Vivero – Aserrín de *Eucalyptus* - Cascarilla de arroz

SUMMARY

Evaluation of different by-products as components of potting media for the production of citrus plants in a protected environment

Due to the detection of Huanglongbing disease in Argentina in 2012, Law 26,888, Resolution 165-2013-SENASA of production in citrus nurseries, towards obtaining plants in pots under plastic cover and anti-aphid nets was promulgated. This presents as a limitation, the need to identify adequate substrates, with specific physical, chemical and biological characteristics and regional availability for an efficient production of plants. Among the by-products for the formulation of substrates for citrus plants in pots in the Bella Vista, province of Corrientes (Argentina), rice husks and sawdust stand out as an alternative to the soil currently used. The objective of this work was to evaluate growth and development of Rangpur lime (*Citrus limonia* Osbeck) plants, using different combinations of eucalyptus sawdust and rice husk. Five substrate mixtures were studied as treatments: (T1) 'Grow mix' commercial substrate as control, (T2) soil + rice husk also control (80-20% v/v), (T3) sawdust + rice husk (75-25 % v/v), (T4) sawdust + rice husk (50-50% v/v), and (T5) sawdust + rice husk (25-75% v/v). T3 treatment presented 91.33% of Total Porosity, 50.33% of Aeration Porosity and 41.33% of moisture Water-holding Capacity, similar to the commercial substrate (T1), which presented 90.00% of total porous space, 33.00% of air pores, and 59.00% of moisture retention capacity. Regarding chemical properties, T3 presented 3.68 ds.m⁻¹ of electrical conductivity and pH 4.94, close related to the control treatment T1 (3.83 ds.m⁻¹ and 4 .12, respectively). Considering growth and development parameters, T3 presented taller plants (69.80 cm) and the highest number of leaves per plant (23.2), being the first to reach grafting diameter (3.44 mm) at 129 days. Nurseries' most used mixture in Bella Vista, T2 (soil and husk 80-20% v/v), showed the worst physical, chemical and plant growth parameters. In conclusion, T3 can be used for the production of potted plants under greenhouse conditions in Bella Vista. On the other hand, T4 and T5 mixtures could be used after being composted, thus complementing their low cost and wide availability.

Key words: growing mix – Citrus limonia – rootstock – citrus plants – nuersery –*Eucalyptus*
sawdust - Rice husk

1. INTRODUCCIÓN

1.1- Los cítricos: características generales

Las especies de cítricos pertenecen a la familia de las Rutáceas, subfamilia *Aurantioideas*, géneros *Citrus*, *Fortunella* y *Poncirus*. Las especies de esta subfamilia son árboles o arbustos de hoja perenne, a excepción de las del género *Poncirus*. Las más importantes desde el punto de vista agronómico son las del género *Citrus*, las cuales se cultivan para producir frutos que se destinan al consumo en fresco o a la industria. Su origen se localiza en Asia oriental, y abarca desde la vertiente meridional del Himalaya hasta China meridional, Indochina, Tailandia, Malasia e Indonesia (Agustí, 2000).

Los cítricos se desarrollan entre las latitudes 40° N y 40° S. No obstante, las plantaciones comerciales se localizan casi solamente en las regiones subtropicales, entre los 20° y 40° de latitud norte y sur. La producción mundial de cítricos frescos en el año 2017 fue de 101.066.000 toneladas. Los principales países productores a nivel mundial son China con 33.300.000 toneladas, y Brasil con 17.340.000 toneladas (Federcitrus, 2018).

1.2- El cultivo de cítricos en Argentina

En la campaña 2017/2018 la producción cítrica Argentina alcanzó alrededor de 3.272.000 toneladas, ubicándose octava a nivel mundial. A su vez, en la República Argentina la superficie productiva de cítricos en el año 2017 fue de 135.501 hectáreas, correspondiendo al NEA unas 70 mil hectáreas, con predominio de cítricos dulces como mandarinas y naranjas (Federcitrus, 2018).

1.2.1- La citricultura en la provincia de Corrientes

En la provincia de Corrientes se estima que existen alrededor de 26.000 hectáreas de cítricos con una producción aproximadamente de 557.000 toneladas. Esta superficie se encuentra dividida en dos regiones: la Región Paraná Centro constituida por los departamentos de Bella Vista, Concepción, Saladas, San Roque, San Miguel, Lavalle, Goya,

Ituzaingó, Mburucuyá, Empedrado y Esquina; y la Región del río Uruguay integrada por los departamentos Monte Caseros, Curuzú Cuatiá, Paso de los Libres y San Martín. Asimismo, se considera que en los departamentos Monte Caseros y Bella Vista se concentra el 86% de la superficie productiva provincial (Molina, 2007; Molina *et al.*, 2018) (Fig. 1).

La producción cítrica es una actividad agroindustrial de gran importancia para el país, y especialmente para la provincia de Corrientes que ha sido pionera en el desarrollo de la citricultura con la Cuenca Bellavistense y la de Monte Caseros (Rodríguez, 2012). Además, la actividad cítrica constituye uno de los sectores de mayor demanda de mano de obra, calculándose en 4.700 puestos de trabajo (Molina, 2007, 2009; Molina *et al.*, 2018).



Figura 1- Regiones productoras de cítricos en la provincia de Corrientes: cuenca Bellavistense y Río Uruguay. Fuente: Elaboración propia en base a Ligier *et al.* (2002, 2004, 2005).

1.3. Evolución del viverismo

El cultivo de plantas en macetas o contenedores inicialmente se desarrolló sobre suelo mineral. Sin embargo, las condiciones eran diferentes de aquellas que se dan en el suelo *in situ*. Además, la proliferación de patógenos sumado al agotamiento de un recurso no renovable, ha generado la necesidad de encontrar alternativas para su reemplazo total o parcial, mediante la utilización de diferentes tipos de sustratos.

Después de la Segunda Guerra Mundial hubo una mejora generalizada de la calidad de vida en los países más desarrollados, que comenzaron a demandar plantas ornamentales y florales, estimulando su producción en macetas (Burés, 1997). Así, en los últimos años se ha producido el auge en el desarrollo de las técnicas de cultivo de plantas en macetas, con la utilización de sustratos en reemplazo total del suelo (Ansorena Miner, 1994; Abad *et al.*, 2004; Barbaro *et al.*, 2011).

La práctica del viverismo en la actividad cítrica constituye el basamento a partir del cual crece esta actividad productiva. En el sistema de producción de cítricos bajo un ambiente protegido, se requiere que los portainjertos sean plantados en bandejas o tubetes plásticos, y al alcanzar un cierto tamaño (10 a 15 cm de altura) sean transferidos a macetas o bolsas de entre 4 a 7 litros. Además, la responsabilidad del viverista se extiende más allá de la producción de las plantas, ya que suelen ser consultados sobre el comportamiento de las variedades y portainjertos que se comercializan (Anderson, 1996).

En este nuevo sistema de producción de portainjertos, se deben utilizar sustratos que reemplacen total o parcialmente al suelo (Schäfer, 2004; Souza y Schäfer, 2006). Por consiguiente, los viveristas enfrentan el problema de abastecimiento de un sustrato para el llenado de sus macetas que sea uniforme de año en año, y sin presencia de plagas y enfermedades (Ahumada *et al.*, 2007). Por otra parte, las plantas de vivero deben ser de buena calidad y garantizar la sanidad de las mismas para originar plantaciones altamente productivas (Dibbern Graf, 2009).

La producción de cítricos en vivero y las prácticas utilizadas han variado en los últimos años. En la década del 70' la producción de plantas cítricas en Argentina se realizaba a campo (Fig. 2). En ese momento, en la provincia de Corrientes existían alrededor de 160 viveros, los que, con la difusión de la cancrrosis de los cítricos, causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, se vieron muy afectados (Zubrzycki *et al.*, 1983). Estos debieron ser erradicados conforme a lo dispuesto por la Ley N° 3442 de Sanidad Vegetal, sancionada y promulgada el 15 de agosto de 1978 en la ciudad de Corrientes.



Figura 2- Vivero cítrico a campo cultivado en el suelo

1.3.1. El Huanglongbing en la producción de plantas cítricas

Además de la cancrrosis, actualmente la citricultura se encuentra amenazada por otras enfermedades, entre ellas se destaca el Huanglongbing (HLB) en importancia. Esta enfermedad de origen bacteriano (*Candidatus Liberibacter* spp) es considerada la más destructiva de los cítricos, ya que hasta el momento ha causado la pérdida de más de 50 millones de árboles en Asia (Sandoval Rincón, 2011). En América, la enfermedad fue descubierta en Brasil en 2004, y posteriormente se ha reportado en Estados Unidos (Martínez y Ojeda, 2012). Una vez instalada la enfermedad, puede alcanzar pérdidas de hasta el 40% de la capacidad productiva en menos de 5 años. La propagación se produce a través de yemas infectadas utilizadas en los injertos de nuevas plantas, y la transmisión por medio del insecto vector (*Diaphorina citri* Kuwayama) cuando se alimenta de la savia de las plantas cítricas (Agostini *et al.*, 2016).

En nuestro país, el HLB fue detectado en el año 2012 en Misiones. Los primeros reportes fueron en huertas de cítricos de esa provincia y más recientemente detectada en Corrientes, en la localidad de Ituzaingó. Debido a esta enfermedad se promulgó y puso en vigencia la Ley 26.888: Creación del Programa Nacional para la Prevención de la Enfermedad del HLB, del año 2013. No existe, hasta el momento, ninguna medida de control para la enfermedad, siendo la única opción la erradicación de las plantas enfermas y el control químico del insecto vector a fin de reducir su transmisión (SENASA, 2013a; Agostini *et al.*, 2016).

La ley 26888 también dispuso que en las zonas cítricas de todo el país los viveros

cítricos deben hacerse bajo cubierta plástica y con mallas antiáfidos en los laterales, lo que llevó a buscar información y alternativas para producir bajo esta nueva modalidad. Se comenzaron a analizar diferentes componentes como sustratos regionales, y bajo dos formas muy diferentes; quienes utilizan macetas con suelo como sustrato, y los que cultivan directamente en el suelo del interior del invernadero, mejorando su estructura.

Actualmente, en la provincia de Corrientes existen aproximadamente 72 viveros inscriptos al SENASA, los que incluyen tanto viveros cítricos como forestales y de otras especies vegetales. Del total, específicamente 54 viveros se dedican a la producción de plantas de cítricos bajo invernadero en toda la provincia. En Bella Vista, están registrados 38 viveros cítricos y se producen alrededor de 250 mil plantas al año de estas especies (Fig. 3).



Figura 3- Vivero bajo invernadero en la región de Bella Vista (Corrientes) con plantas de limón en macetas

En Corrientes existen alrededor de 72 viveros cítricos certificados, casi el 80% no utiliza sustrato para la producción de plantas, sino que lo hacen en suelo bajo invernadero. En Bella Vista, también se dejó de utilizar la maceta con tierra de monte, y la mayoría de los viveristas producen sus plantas directamente en el suelo bajo invernadero. Esta práctica no es recomendada porque al extraerse las plantas para la venta, se rompen muchas raíces y es una vía de ingreso de patógenos cuando las plantas son trasplantadas. Además, se provoca un estrés hídrico y mayor pérdida de plantas, tanto en el traslado como en el trasplante. Otras consecuencias negativas de producir en el suelo son la desuniformidad de plantas obtenidas, las pérdidas de plantas por la presencia de hongos y bacterias patógenas de suelo; la necesidad de restablecer el sustrato y el suelo extraído con la planta, y no menos importante, la menor

cantidad de plantas por metro cuadrado de invernadero que se pueden producir. Esta cantidad disminuye de 24,80 a 26,80 pl.m⁻² cuando se utilizan macetas, a 17,80 pl.m⁻² en el suelo, según datos no publicados del INTA Bella Vista.

Sin embargo, algunos viveristas continúan produciendo plantas en macetas, utilizando tierra de monte y en algunos casos incorporan a la mezcla cáscara de arroz. Esta nueva forma de producir ha inducido a que el profesional y el productor viverista comiencen a familiarizarse y a buscar información (Valenzuela *et al.*, 2014). Por consiguiente, se comenzaron a realizar ensayos en cítricos tendientes a probar mezclas de sustratos de diferentes componentes y bajo costo, y con el menor impacto ambiental posible. En el INTA de Bella Vista, los técnicos junto a los viveristas y asesores privados de la zona, han comenzado a trabajar en ensayos sobre sustratos alternativos, utilizando cascara de arroz sin carbonizar, corteza de pino, resaca de río, estiércol bovino y equino, y más recientemente aserrín, en trabajos no publicados aún.

1.4- Variedades de Portainjertos más utilizados en la zona de Bella Vista

El portainjerto lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) está recomendado para zonas cálidas y húmedas como Bella Vista, Corrientes y San Pablo, Brasil (Fig. 4). Es muy precoz y productivo, pero sensible al frío. Es afectado por exocortis (*Citrus exocortis viroid*; CEVd), cachexia (*Citrus cachexia viroid*; CCaVd) y gomosis del pie (*Phytophthora spp.*), pero es tolerante a la tristeza de los cítricos (*Citrus tristeza virus*; CTV) (Anderson, 1996).



Figura 4- Planta y frutas de lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck)

Se obtiene un buen tamaño de fruta, de calidad algo inferior a la que se logra sobre ‘trifolio’ (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.), ya que tiene menos cantidad de sólidos solubles y mayor acidez. Es un árbol productivo y vigoroso, de crecimiento similar al limonero rugoso; al igual que su productividad. Posee pocas espinas y de tamaño pequeño, y follaje de color verde opaco. Las flores son pequeñas, comparables con las mandarinas; la fruta de tamaño mediano a pequeño, globoso. El fruto maduro es de color amarillento o anaranjado pálido, la superficie del epicarpio es suave a ligeramente rugosa. El fruto puede perdurar en el árbol por un largo tiempo; las semillas son numerosas por fruto, pequeñas, en promedio llegan a tener hasta 12 mil semillas por kilogramo de fruta; altamente poliembriónicas. La calidad de fruta es intermedia, entre el limonero Rugoso y el *Citrangue troyer*. La planta es tolerante a la salinidad y a suelos calcáreos, aunque poco tolerante al frío. Esto lo hace apto para regiones donde no hay riesgos de heladas. Es un pie que sirve para combinar con cualquier otro cítrico por lo que es muy requerido por los viverista de la zona, estimándose que es usado en el 90% de los viveros de Bella Vista y en las quintas de la zona.

El naranjo Agrio (*Citrus aurantium* L.) es un excelente pie para zonas libres de tristeza que producen fruta para consumo en fresco (Fig. 5). En la zona del río Uruguay se lo usa muy poco y sólo como portainjerto de limonero ‘Eureka’. Las plantas son medianamente vigorosas y de tamaño mediano a grande. Prospera adecuadamente en suelos de mediana fertilidad y es comúnmente usado en aquellos suelos pesados y con drenaje pobre, debido a su tolerancia intermedia a *Phytophthora*. Se adapta a suelos con pH altos y salinos (Anderson, 1996).



Figura 5- Planta y frutas de naranjo Agrio (*Citrus aurantium* L.)

1.5- Uso de sustratos en viveros

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ. Al colocarse en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. A su vez, el sustrato no necesariamente puede intervenir en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991; Hidalgo Loggiodice *et al.*, 2009). En general, se considera que el soporte del cultivo (suelo o sustrato) debe cumplir cuatro funciones, tales como i) asegurar el anclaje mecánico de la planta; ii) constituir la reserva hídrica; iii) proporcionar el oxígeno que necesitan las raíces; iv) asegurar la nutrición mineral de la planta (Michelot, 1999).

Inicialmente, la producción de plantas en viveros se realizaba en el suelo in situ, o en macetas con suelo como sustrato. Según Abad *et al.* (2004), las principales razones de la sustitución del suelo por sustratos apropiados se deben a la existencia de factores limitantes para los cultivos intensivos en suelo natural y el control riguroso del medio radical vinculado con el manejo del cultivo.

Dentro de las limitantes del suelo in situ que contribuyeron a la disminución parcial o total de su uso en los cultivos bajo cubierta se encuentra la proliferación de patógenos (Raviv y Leith, 2008). La salinización, el agotamiento de la fertilidad natural y el deterioro físico del suelo, son otros factores que obligaron a la búsqueda de tecnologías para el desarrollo de diferentes materiales y mezclas para lograr un sustrato con características apropiadas para el cultivo de las plantas en macetas. La sustitución parcial o total en algunos casos del suelo facilitó el transporte de plantas por su menor densidad (Abad *et al.*, 2004). En las últimas décadas, los subproductos o desechos de diversas actividades domésticas, urbanas e industriales se han utilizado como medios de crecimiento de plantas (Valenzuela *et al.*, 2005).

Por consiguiente, surgieron investigaciones tendientes a generar sustratos a partir de residuos o subproductos de explotaciones agrícolas e industriales, con un previo proceso para obtener condiciones estables. Esto, además se propuso con el objetivo de evitar el deterioro del ambiente debido a la generación y acumulación de estos residuos o subproductos (Burés, 1997), como cortezas de árboles, orujos de uva, restos de poda, estiércoles, fibra de coco, pajas, entre

otros.

En los sistemas de producción de cultivo sin suelo en todo el mundo, es común la utilización de turbas puras o en mezclas con otros materiales (Acosta- Durán *et al.*, 2008). Las turbas presentan un efecto estimulador en el desarrollo vegetal atribuido a compuestos activadores del crecimiento. Las más destacadas se forman en zonas frías, con alta precipitación y humedad relativa, en las que solo pueden establecerse especies poco exigentes como los musgos *Sphagnum* (Strasburger *et al.*, 1986). Sin embargo, en los países económicamente desarrollados existen reglamentaciones ambientalistas sobre los humedales que restringen la explotación de las turberas, y por ello han buscado otros materiales alternativos para los sistemas de producción de cultivo sin suelo (Martínez y Roca, 2011).

En México, el sustrato más utilizado para la producción de flores es la cascarilla de arroz carbonizada o tostada, pero debido a la contaminación que genera el proceso de carbonizado se impulsó el uso de la cáscara de arroz sin procesar, y otros residuos como la fibra de coco, y la escoria de carbón (Quintero *et al.*, 2014). Además, existen otros métodos de procesamiento que permiten mejorar las características de la cascarilla de arroz; tal es el caso de la cascarilla expandida. En Corea del Sur se desarrolló este método que consiste en someter la misma a condiciones de elevadas temperaturas y presión para provocar que la cascarilla se expanda (Quintero *et al.*, 2012).

En el año 2012 se realizaron ensayos en el INTA de San Pedro, en el cual se evaluó el comportamiento del limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush) en diferentes sustratos comerciales, considerando el interés en la nueva forma de producción de cítricos (Daorden *et al.*, 2012). Así, también en el año 2014 se llevó a cabo un ensayo en el Centro de Citricultura “Sylvio Moreyra” (San Pablo, Brasil), donde trabajaron con sustratos como corteza de pino, perlita y vermiculita, con el fin de evaluar el diámetro del tallo, número de hojas y materia seca de la planta cítrica obtenida bajo diferentes dosis de NPK (De Campos Bernardi *et al.*, 2014).

1.5.1- Sustratos regionales

En Argentina más del 65% de los viveristas adquieren los materiales y preparan sus propios sustratos (Alorda, 2002). Los materiales alternativos de mayor costo son la turba,

perlita, vermiculita, y de menores costo son corteza de pino, pinocha, resaca de río compost de ave de corral, entre otros. Estos materiales de altos costos buscan ser reemplazados por otros de amplia disponibilidad regional y bajo costo (Valenzuela *et al.*, 2014). Esto llevó a la búsqueda de residuos agroindustriales que se generan en grandes volúmenes en la zona de la Mesopotamia (Corrientes, Misiones y Entre Ríos), recurriendo de este modo a molinos arroceros, aserraderos, emprendimientos avícolas, e industrias cítricas (Leconte, 2010).

Estos subproductos han sido denominados sustratos “alternativos”, aunque este término es considerado poco preciso desde el laboratorio de Sustratos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNER, quienes proponen nominarlos como sustratos regionales o sustratos basados en componentes locales; o directamente el nombre de los materiales usados en la formulación de mezclas (Valenzuela y Gallardo 2003; Valenzuela *et al.*, 2005).

De la misma manera, en la zona del AMBA, también se ha buscado reemplazar al suelo, o tratando al menos de reducir su proporción en las mezclas con otros componentes. En el sector florícola argentino, uno de los materiales más empleados en la formulación de sustrato es la resaca de río, que se produce por una acumulación de residuos vegetales en condiciones anaeróbicas en la zona del delta del Río Paraná (Gallardo *et al.*, 2006; Valenzuela *et al.*, 2004). Sus características principales son similares a la de la turba rubia, con muy buenas propiedades físicas, tales como baja densidad aparente, alta porosidad y capacidad de retención de agua (Gallardo *et al.*, 2006).

Barbaro *et al.* (2008) caracterizaron las distintas resacas que se utilizan en el Gran Buenos Aires, de modo de distinguir las mezclas más convenientes para la producción florícola. Con frecuencia en el manejo de los cultivos, los floricultores utilizan un mismo sustrato por igual para todas las especies de modo de simplificar el manejo de los mismos. Sin embargo, las plantas presentan diferentes requerimientos por lo que la producción puede afectarse. En la mayoría de estos viveros se usa resaca de río debido a los costos, pero las mezclas y proporción de cada uno depende del capital de la empresa y el asesoramiento agronómico. Existen ensayos en los que se analizaron mezclas de diferentes componentes de sustratos, como resaca de río, tierra negra y sustratos comerciales, que arrojaron resultados alentadores en la industria florística (Di Benedetto, 2003).

Otro residuo que se utiliza como mezcla en los sustratos es la cascarilla de arroz, ya sea cruda o parcialmente carbonizada. En la campaña 2015/2016, en la provincia de Corrientes la superficie cosechada de arroz fue de 87.020 hectáreas, y la producción alcanzó un total de 557.289 toneladas (ACPA, 2016). En la obtención de arroz blanco, el grano se descascarará, obteniendo como subproducto la cascarilla de arroz. Este material puede utilizarse como sustrato directamente o tras sufrir un proceso de descomposición.

La cascarilla de arroz es de baja tasa de descomposición por su alto contenido de sílice, es liviano con una densidad aparente entre 0,09 y 0,22 g cm⁻³, con alta porosidad y baja capacidad de retención de humedad. Además, su conductividad hidráulica es elevada, su pH es neutro, mientras que su conductividad eléctrica y su capacidad de intercambio catiónico son bajas (Quintero *et al.*, 2014). A su vez, el 20% del peso del arroz es cáscara, por lo que la producción zonal generaría unas 2,32 t ha⁻¹ año⁻¹ de residuos que podrían utilizarse como sustratos para plantas en maceta (Drigo *et al.*, 2009). Considerando una proporción del 25% de cascarilla de arroz en la mezcla en macetas de 4 litros, la producción provincial alcanzaría aproximadamente para la producción de 200 millones de macetas.

El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y la dificultad para lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad), fundamentalmente cuando se usa como único sustrato. Por ello, se la somete a un proceso de carbonizado o tostado (Calderón, 2002) parcial en un horno sin llegar a cenizas, reduciendo su volumen en un 25% aproximadamente. Con este proceso se busca mejorar las propiedades físico-químicas, se eliminan las semillas de malezas, se mejora la humectabilidad, aunque no aumenta la capacidad de retención de agua (Calderón, 2002).

Por otra parte, en Argentina, el 77% del total de la superficie forestada se encuentra en la región mesopotámica (Uasuf y Hilbert, 2012). La superficie forestal de Corrientes es de alrededor de 473.983 hectáreas, con más de cien aserraderos en la provincia. A su vez, en la zona de Bella Vista se localizan ocho aserraderos que producen gran cantidad de aserrín, especialmente de *Eucalyptus* sp., destinados a la producción de cajones de madera (Elizondo *et al.*, 2015).

Las cualidades del aserrín para uso como sustrato dependen de la especie maderable procesada, del tiempo y las condiciones de almacenamiento, y el contenido de taninos que puede reducir el crecimiento radicular (Andrade, 2008).

El aserrín puro, usado como sustrato, puede presentar problemas por exceso de humedad y escasa aireación, por lo que se recomienda utilizarlo en mezclas con materiales con partículas más gruesas. Se sabe también que el uso de aserrín, de granulometría muy fina puede reducir el nivel de oxígeno para las plantas y desencadenar procesos anaeróbicos de fermentación que generan ácidos orgánicos perjudiciales para la producción de plantas en sustratos (Acosta-Duran *et al.*, 2008).

En la industria maderera, la disposición final de aserrín y otros desechos es un problema creciente, ya que los aserraderos producen grandes cantidades anualmente. En trabajos realizados con este subproducto se pudo constatar que el aserrín utilizado adecuadamente puede competir con otros sustratos que tienen una disponibilidad relativamente limitada (Raviv, 2011). Los efectos favorables se pueden comparar con los de la turba, tanto para mejorar la densidad de masa, la porosidad y la aireación de los sustratos (Martínez-López *et al.*, 2012).

Se han realizado evaluaciones en viveros de forestales para analizar la eficacia del uso del aserrín como sustrato para la producción de plantas, obteniendo buenos resultados en diferentes mezclas y proporciones con corteza de pino, vermiculita, y compost de restos de poda (Ortega-Martínez *et al.*, 2010; Oviedo, 2011).

En el año 2012, en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista, con el objetivo de dar una respuesta rápida a los viveristas debido a la reconversión en la forma de producir plantas cítricas, se realizaron ensayos con el portainjerto lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) en cinco sustratos diferentes. Se utilizó un sustrato comercial y otros a base de mezclas de productos como perlita, turba, tierra de monte, resaca de río, cáscara de arroz carbonizada, corteza de pino y estiércol. Se obtuvieron buenos resultados de crecimiento de plantas con el sustrato a base de tuba y perlita, como así también con cáscara de pino, turba y cascarilla de arroz carbonizada; y en menor medida utilizando mezclas a base de tierra y estiércol (Carcaño y Beltrán, 2012).

En la zona sur de Corrientes, en los departamentos de Monte Caseros y Mocoretá, así como en la zona norte de Entre Ríos, desde Chajarí hasta Concordia, se utilizan, al menos en una parte de los viveros, sustratos que incluyen corteza de pino resaca de río, material de alta disponibilidad en esa zona.

1.6- El compostado de los residuos como alternativa para mejorar sus propiedades físicas y físico-químicas

Una de las posibles alternativas para reemplazar el suelo, es el compost, el cual puede ser elaborado a partir de una gran variedad de materiales, como restos de poda, cascara de arroz, aserrín, bagazo de caña, estiércol vacuno, guano, residuos de la elaboración de té y yerba etc. (Watthier *et al.* 2019). Se ha demostrado en muchos estudios que la mayoría de los residuos orgánicos no pueden ser utilizados directamente, debido a un conjunto de efectos negativos para las plantas, tales como fitotoxicidad, inmovilización de nitrógeno, salinidad, inadecuada estructura, entre otros (Costa *et al.*,1991).

Para minimizar la mayoría de estos problemas se realiza el compostado. Es un proceso biooxidativo controlado, en el que intervienen diferentes clases de microorganismos e involucra un sustrato heterogéneo en estado sólido. El proceso comprende una etapa termofílica, con liberación temporaria de fitotoxinas, y una etapa de maduración que conduce a la producción de materia orgánica estabilizada y minerales (Zuconi *et al.*, 1989; Stratton *et al.*, 1995). Cuando el proceso se cumple de manera efectiva, se considera al producto final (compost) suficientemente estable para ser utilizado sin efectos adversos para la agricultura o el medio ambiente (Costa *et al.*, 1991).

La cascarilla de arroz tiene baja concentración de nutrientes y altas concentraciones de silicio (baja degradabilidad) y de ceras (propiedades hidrofóbicas) (Wang *et al.*, 2005; Sandoval Lemus, 2007). Al igual que el aserrín, también puede ser utilizada como combustible, mulch o cama de gallinas, y debido a su lenta descomposición se la utiliza para la producción de materiales de construcción o sustrato para plantines de vivero (Beraldo y Zucco, 2007; Sandoval Lemus, 2007). Tanto el aserrín como la cascarilla de arroz son difíciles de compostar debido a su alta relación C/N (> 100). En la zona de Bella Vista (Corrientes), el almacenamiento de los residuos agroindustriales como cascarilla de arroz y el aserrín no se realiza de una manera

uniforme ni controlada, por lo que no se produce un proceso de compostado, sino que se podría referir a un proceso de estacionamiento.

El objetivo de la investigación fue contribuir al conocimiento de las propiedades físicas de sustratos regionales y cuantificar su relación con el crecimiento de las plantas cítricas en la etapa de vivero.

2- HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1- HIPOTESIS

A partir de residuos de industrias regionales, aserrín *Eucalyptus* sp. y cascarilla de arroz, se pueden generar sustratos con performance competentes para la producción de plantas cítricas en macetas.

2.2- OBJETIVO GENERAL

Evaluar diferentes residuos de la agroindustria de la provincia de Corrientes, como componentes de sustratos para la producción de portainjertos cítricos bajo cobertura plástica.

2.3- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características físicas, químicas y biológicas de las mezclas de cascarilla de arroz y aserrín de *Eucalyptus* sp.
- Determinar el crecimiento del portainjerto lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) en diferentes mezclas de residuos de las industrias (cascarilla de arroz y aserrín de *Eucalyptus* sp.).
- Identificar la mezcla de sustratos más conveniente en función de los objetivos específicos anteriores.

3- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1- Descripción del sitio de estudio

El ensayo se llevó a cabo en el Centro de Incremento Regional (CIR) de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA-INTA) Bella Vista, en la provincia de Corrientes (28°26'53.0"S, 58°59'12.1"W, 64 msnm).

Se utilizaron invernaderos de estructuras metálicas parabólicas, aislados con malla antiáfido en los laterales, con una superficie de 1.248 m², 6 m de ancho, y 48 m de largo. En el mismo se multiplican yemas certificadas de diferentes especies y variedades de citrus, que se proveen para toda la región citrícola del NEA (Fig. 6 y 7).



Figura 6- Invernaderos metálicos parabólicos del Centro de Incremento Regional (CIR) de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista



Figura 7- Vista interior de los Invernaderos de multiplicación de yemas certificadas bajo normativas de SENASA e INASE. Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista.

Estos invernaderos cumplen con toda la normativa para la producción de plantas cítricas certificadas, entre las cuales se mencionan el estar aislados, con techo de polietileno, malla antiáfidos en los costados, antecámaras de desinfección, doble puerta de entradas, cerco perimetral y cortinas rompe vientos, según Resolución 930/09 del SENASA (SENASA, 2013b). En el lugar del ensayo se colocó media sombra al 30% por fuera del invernadero y en el interior, para disminuir la temperatura dentro del mismo (Fig. 8 y 9).



Figura 8- Invernadero con antecámara de desinfección, doble puerta de entrada, malla antiáfidos, techo impermeable y media sombra



Figura 9- Media sombra al 30% en el interior del invernadero

3.2- Material Vegetal

Se utilizó como material vegetal el portainjerto cítrico lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) nativo de India, probable híbrido de mandarina por limón rugoso o naranjo amargo (Fig. 10).



Figura 10- Planta semillera certificada de lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck)

Los plantines se obtuvieron a partir de semillas certificadas del Banco Semillero de la EEA Bella Vista. La siembra se realizó en almácigos de 1 m de ancho por 2 m de largo y 20 cm de profundidad, sobre-elevados del suelo (Fig. 11). En el almácigo se utilizó el sustrato comercial Grow Mix Multipro, el cual contiene turba (musgo *Sphagnum*) de fibras medias, compost de corteza, cal, dolomita y agentes humectantes (Fig. 12); este tipo de sustrato es utilizado por una gran parte de los viveristas, pero solo en la etapa de almácigos, no así en macetas, debido a su alto costo. La siembra se realizó en líneas, colocando las semillas una junto a la otra con la micrópila hacia abajo, a una distancia de 5 cm entre líneas (Fig. 13). El trasplante a las macetas definitivas del ensayo se realizó cuando los plantines tenían entre 4 a 5 hojas (aproximadamente 2 meses). Los plantines permanecieron en las macetas hasta finalizar el ensayo, cuando el portainjerto de uno de los tratamientos alcanzó el diámetro de injerto (3,50 mm). Todas las mediciones se hicieron previas al injerto.



Figura 11- Almacigo sobre-elevado del portainjerto lima Rangpur



Figura 12- Sustrato comercial Grow Mix Multipro, utilizado en el almacigo



Figura 13- Siembra de semillas de lima Rangpur a chorrillo continuo

3.3- Materiales utilizados como fuente de sustrato

Considerando los residuos industriales disponibles en la zona de Bella Vista, Corrientes, se propuso utilizar cascarilla de arroz la cual presentó valores de potencial hidrogeno (pH) 5,90 y una conductividad eléctrica de 0,30 ds m⁻¹; y aserrín de especies de *Eucalyptus* sp con un potencial hidrogeno (pH) 6,50 y una conductividad eléctrica de 0,06 ds m⁻¹ (Fig. 14 y 15).



Figura 14- Cascarilla de arroz utilizada como fuente de sustrato



Figura 15- Aserrín de *Eucalyptus* sp. en galpones de aserraderos de la ciudad de Bella Vista, Corrientes.

Los sustratos que se utilizaron para las mezclas fueron estacionados por más de un año en las industrias que los producen como residuos de sus procesos. Las mezclas se realizaron al momento de cargar las macetas con la incorporación de fertilizantes de liberación lenta.

3.4- Macetas, fertilizante y sistema de riego utilizado

Se utilizaron macetas rígidas de polietileno de 3.750 cm³, con 8 costillas y 5 ventanas para guiar el desarrollo de las raíces y evitar que las mismas se enrollen (Fig. 16). Además, las macetas tienen incorporadas aletas que no permiten que las raíces tomen contacto directo con el suelo, lo que evita que se arraiguen en el mismo.

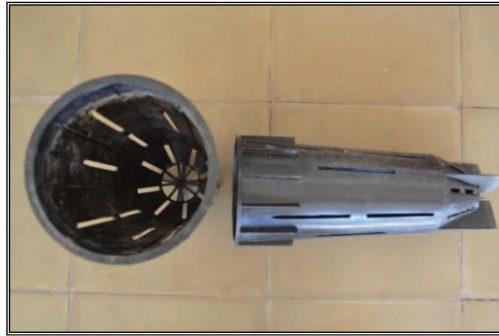


Figura 16 - Macetas de polietileno rígidas de 3.750 cm³, con costillas, ventanas y alas.

Se utilizó un fertilizante de liberación lenta de 6 meses (BASACOTE® PLUS 16-8-12 + (2 MgO) + ME) cuya dosis fue de 5 gramos l⁻¹ de sustrato. El mismo se adicionó junto a los demás componentes del sustrato, utilizando una mezcladora industrial tipo trompito (Fig. 17).



Figura 17 - Mezcladora tipo trompito

El riego se realizó por goteo, con agua con potencial hidrogeno (pH) 6,90 y una conductividad eléctrica de 0,03 ds.m⁻¹ que se distribuyó por un gotero tipo araña con 4 salidas (1 para cada maceta). El gotero tuvo un caudal de 2,00 l.h⁻¹ que al dividirse en cuatro

contenedores representó $0,50 \text{ l.h}^{-1}$ por maceta (Fig. 18). La frecuencia de riego se determinó en función a las necesidades del cultivo, promediando 3 riegos por semana.



Figura 18- Gotesos tipo araña con salidas para 4 mangueras, una por maceta

3.5- Tratamientos

La composición y proporción de las mezclas de sustratos (tratamientos) evaluados se detallan en la tabla 1. (T1 control 1 tomado como mezcla ideal, T2 control 2 uso masivo de los viveristas en la zona)

Tabla 1. Tratamientos de acuerdo a la composición y proporción de los materiales utilizados

Tratamientos	Composición
T1 (control 1)	Sustrato comercial (growmix)
T2 (control 2)	Suelo + cascarilla de arroz (80-20% v/v)
T3	Aserrín + cascarilla de arroz (75-25% v/v)
T4	Aserrín + cascarilla de arroz (50-50% v/v)
T5	Aserrín + cascarilla de arroz (25-75% v/ v)

3.6- Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con 10 repeticiones, 5 tratamientos y 2 plantas por repetición. La Unidad experimental fue de 2 plantas, constituyendo 20 plantas por repetición, utilizándose en el ensayo un total de 100 plantas (Fig. 19).

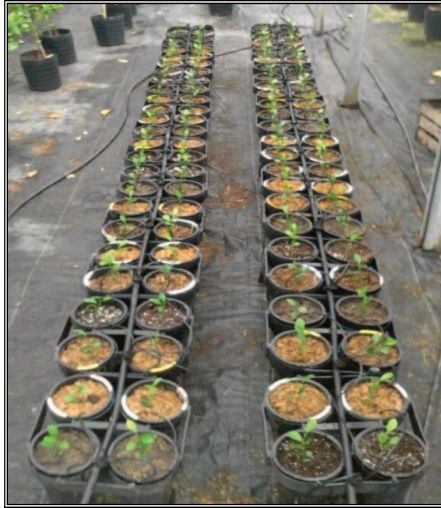


Figura 19- Disposición de las plantas

3.7- Análisis de las propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos

Las mezclas de sustratos con fertilizantes de liberación lenta de cada tratamiento fueron analizadas antes de iniciar el ensayo, en el Laboratorio de Sustratos y Agua del Instituto de Floricultura del INTA Castelar, para lo cual se prepararon tres bolsas de 15 litros, de cada una de las mezclas de los diferentes materiales que constituían los tratamientos. Dichos análisis se realizaron por triplicado.

3.7.1- Propiedades físicas

3.7.1.1- Densidad de sustrato y densidad aparente (DS y DAP) (kg m^{-3})

Para la determinación de la densidad del sustrato y densidad aparente de los diferentes sustratos se utilizó el Método Hoffman (Fermino, 2003). El mismo consistió en llenar una probeta de 250 ml, dejando caer la probeta de una altura de 10 cm repitiendo el procedimiento 10 veces. Se observó el nivel alcanzado por el sustrato en la probeta y se anotó el volumen (V), luego se volcó el sustrato en una bandeja tarada (B1) y se anotó el peso (M1). Posteriormente la muestra húmeda se llevó a una estufa a 105°C hasta peso constante, para luego volver a pesar (M2). El procedimiento se realizó por triplicado.

Para calcular la Densidad aparente y de sustrato se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Densidad aparente húmeda (Kg m}^{-3}\text{)} = \frac{(M1-B1) \times 1000}{V}$$

$$\text{Densidad aparente seca (Kg m}^{-3}\text{)} = \frac{(M2- B1) \times 1000}{V}$$

3.7.1.2- Granulometría

Para la determinación de la granulometría, se utilizó una tamizadora vibratoria con tamices de 5,56; 4,75; 3,35; 2,00; 1,40; 1,00 y 0,50 mm, durante 10 minutos en forma intermitente (Ansorena Miner, 1994). Los resultados se expresaron en porcentaje de tamaño de partículas para cada uno de los tratamientos, (P) P < 0,50; P 1,00 – 0,50; P 1,40 – 1,00; P 2,00 – 1,40; P 3,35 – 2,00; P 4,75 – 3,35; P 5,56 – 4,75 y P > 5,56.

3.7.1.3- Espacio poroso total (EP), capacidad de retención de agua (CRA) y poros con aire (PA).

Para la medición del espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de agua (CRA) y poros con aire (PA), se utilizó el Método de De Boodt mediante los lechos de arena (De Boodt *et al.*, 1974). El procedimiento utilizado para la preparación de las muestras y la medición se detallan en el Anexo I.

Para determinar las características físicas se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Capacidad de Retención de Agua (CRA) (\%)} = \frac{(MH-MS) D_a}{V \text{ Cil}} \times 100$$

$$\text{Espacio Poroso Total (EPT)} = 100 (1-DV_s/D_p)$$

$$\text{Poros con Aire (PA) (\%)} = \text{EPT}-\text{CRA}$$

MH= (M1– M0); **MS**= (M2– M0); **DVs**= MS/V Cil

MH: masa de la muestra húmeda, expresada en gramos.

MS: masa de la muestra seca a 105 °C, expresada en gramos.

M0: masa del equipo vacío expresada en gramos.

M1: masa del equipo conteniendo la muestra húmeda, expresada en gramos.

M2: masa del equipo conteniendo la muestra seca a 105 °C, expresada en gramos.V

Cil: Volumen del cilindro, expresado en cm^3 .

Da: Densidad del agua

DVs: Densidad volumétrica en base seca, se expresa en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ o lo que es lo mismo $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.CRA:

Capacidad de retención de agua, expresada en % (v/v).

Dp: Densidad de partículas $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ según el protocolo de materia orgánica

3.7.2- Propiedades químicas

3.7.2.1- Potencial Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE)

Par la medición de Potencial Hidrógeno (pH), se utilizó un Peachimetro marca Horiba, modelo M-12; y para la Conductividad Eléctrica (CE) un conductímetro digital marca Thermo Orion, modelo 145 (Barbaro, 2011). Se utilizó una relación 1+5 volumen/volumen. En un frasco de 250 ml se colocaron 135 ml de agua destilada y luego se llevó a 162 ml con el agregado de sustrato equivalente a 1+5 en volumen, se agitó durante 10 minutos y se dejó reposar 15 minutos; luego se realizaron las mediciones en la solución.

3.7.2.2- Medición de concentración de nutrientes en gramos /litro de sustrato

El mismo consistió en utilizar el filtrado de la solución 1+5 v/v, para luego analizar el contenido de los cationes de calcio, magnesio, potasio y sodio. También se midió nitrógeno como nitrato, y fósforo como fosfato.

3.7.2.3- Nitrato (NO₃)

La medición del contenido de NO₃ se realizó con electrodo ion selectivo marca Orion.

3.7.2.4- Fosfato (PO₄)

Se midió la absorbancia a 882 nm en un espectrofotómetro Metrolab 330 (Alcántar González y Sandoval Vila, 1999).

3.7.2.5- Cationes Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+

Para la medición del contenido de Cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ , se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian.

3.8- Propiedades biológicas: bioensayo de germinación

Se determinó el Índice de Germinación (IG) de los tratamientos (sustratos) que se obtuvieron mezclando cascarilla de arroz y aserrín de *Eucalyptus* sp. con el fertilizante de liberación lenta 5 g l^{-1} de sustrato. Se utilizaron 4 cajas de petri, en su base se colocó papel de filtro, se adicionó la solución sobrenadante del sustrato a evaluar (Fig. 20). Sobre el papel de filtro embebido por la solución se colocaron 10 semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Gran rapid (Fig. 21). De la misma manera se preparó el control utilizando agua destilada. Una vez preparadas y tapadas todas las cajas de petri, se llevaron a una estufa marca Dalvo (cámara de cultivo con control de humedad y luz) a $20/15 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura máxima y mínima, respectivamente, con 12 horas de fotoperiodo y durante 48 horas.

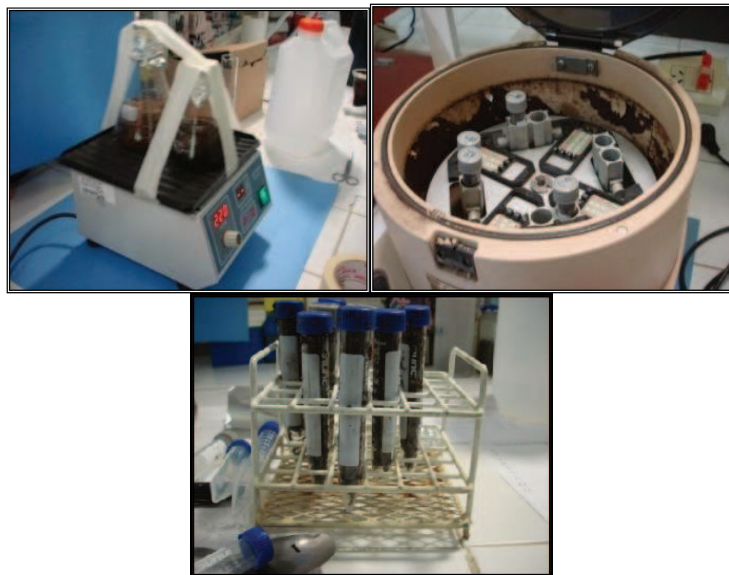


Figura 20- Sobrenadante de solución de las mezclas de sustratos



Figura 21- Siembra de semillas de lechuga en cajas de Petri

Al retirar las cajas de la cámara de germinación se midió la longitud de laradícula y el número de semillas germinadas de cada caja de petri. Con los valores promedios de ambas variables se calculó el Porcentaje de Germinación Relativo, el Crecimiento de Radícula Relativo y el Índice de Germinación, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$\% \text{ Longitud radicular} = \frac{\text{Elongación de las radículas en el extracto}}{\text{Elongación de las radículas en el testigo}} \times 100$$

$$\% \text{ Índice Germinación} = \frac{\% \text{ Germinación} \times \% \text{ Longitud radicular}}{100}$$

Cuando los valores de Índice de Germinación son mayores del 80%, se considera que no hay sustancias fitotóxicas o que están en muy baja concentración; si son menores del 50%, significa que existe una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas, y si el valor de IG se encuentra entre 50% y 80% se interpreta como que hay presencia moderada de estas sustancias (Zucconi *et al.*, 1981; Varnero *et al.*, 2007).

3.9- Variables de crecimiento y desarrollo de los plantines

Las variables, longitud del tallo, diámetro de tallo, número de hojas e Índice Spad, fueron medidas cada 21 días, a partir del trasplante, mientras que el área foliar, peso fresco y seco aéreo y radicular de la planta, se evaluaron por única vez al finalizar el ensayo cuando los plantines alcanzaron el diámetro de injerto (3,5 mm).

3.9.1- Longitud de tallo

La medición se realizó con regla milimetrada, tomando la medida desde la base de la planta hasta el ápice de la misma, los valores se expresaron en centímetros (cm) (Fig. 22).



Figura 22- Medición de altura de planta con regla milimetrada

3.9.2- Diámetro de tallo

La medición se realizó utilizando un calibre digital marca Gardex, tomando la medida a los 10 cm desde el cuello de la planta; dicha altura corresponde a la de injerto y los valores se expresaron en milímetros (Fig. 23).



Figura 23- Medición de diámetro de tallo con calibre digital

3.9.3- Número de hojas

La medición del número de hojas se realizó contando el número de las mismas en cada una de las fechas de evaluación de los otros parámetros.

3.9.4- Masa fresca y seca aérea y radical

Para la medición de la masa fresca y seca de las plantas se utilizó una balanza de precisión (Fig. 24). Las plantas se separaron en parte aéreas (hojas y tallo) y parte radicular (raíces primarias y raicillas), se pesaron y luego se llevaron separadamente dentro de un sobre de papel madera a estufa a temperatura constante de 105 °C durante 48 horas; y luego se volvió a pesar con balanza de precisión (Fig. 25).



Figura 24- Balanza utilizada para pesar las muestras



Figura 25- Estufa utilizada para secar material vegetal para determinación de masa seca

3.9.5- Índice SPAD (Tecnología SPAD CAVADEVICIES)

Este es un método indirecto para estimar el estado nutricional de las plantas (Guimaraes *et al.*, 1999). Las mediciones se realizaron en las hojas centrales de la planta cada 21 días (Fig. 26). La primera medición se realizó un mes luego del trasplante.



Figura 26- Instrumento para la medición del índice Spad

3.9.6- Medición de área foliar

Se utilizó un escáner con un programa image J1. 52^a. Se fueron extrayendo todas las hojas de cada planta y se escaneaba.

3.10- Análisis estadístico de los resultados

El experimento se realizó bajo un diseño completamente aleatorizado, en tanto que las variables de interés se registraron en cinco fechas: 30, 55, 78, 104 y 129 días pos-trasplante. Dicha estructura de medición determina que las observaciones sucesivas en un mismo individuo/planta, se encuentre correlacionadas por lo tanto dichas variables se analizaron mediante un modelo lineal mixto (MLM) para datos longitudinales (Pinheiro y Bates, 2000; Demidenki, 2013). El modelo general se plantea específicamente como (1):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + t_j + (\alpha t)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

donde la variable y observada en el i -ésimo tratamiento, j -ésima fecha ($j = i = 1, 2, \dots, 5$) y k -ésima repetición ($k = 1, 2, \dots, 10$) se compone de la media general μ , el efecto del tratamiento α al nivel i , la fecha en la medición j (t_j), la interacción del tratamiento con fecha $(\alpha t)_{ij}$ y, finalmente, ϵ_{ijk} denota el error aleatorio en la observación ijk -ésima.

Para las variables continuas (diámetro, altura y valor spad), el modelo de la ecuación (1) se planteó bajo el supuesto de distribución normal multivariada del error, formalmente $\epsilon \sim N(\mathbf{0}, \Sigma)$. Σ corresponde a la matriz de varianzas y covarianzas del proceso estocástico (Searle *et al.*, 1992). Se emplearon diferentes estructuras para especificar Σ , estas surgen de combinar modelos para la dependencia del error, autorregresivo de primer (AR1) y segundo orden (AR2), y para la varianza, modelo potencial (MP) y componentes de varianza (CV). La selección de modelos se realizó mediante indicadores de verosimilitud penalizada: Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) y Criterio de Información Bayesiano (BIC por sus siglas en inglés).

El número de hojas por planta es un conteo por unidad, entonces es una variable discreta cuya distribución es *Poisson* (λ). Por ello, esta variable se analizó conforme al enfoque de modelos lineales generalizados (MLG) descrito por Zuur *et al.* (2009). En este caso la selección del mejor modelo se realizó por la significancia de la reducción de la devianza residual (Zuur *et al.*, 2009).

Las estimaciones se realizaron mediante máxima verosimilitud restringida (MVR) mediante el software R (R Core Team, 2021), para las estimaciones bajo el enfoque de MLM se empleó la librería *nlme* (Pinheiro *et al.*, 2021) y las de MLG se realizaron con la librería *stat* (R Core Team, 2021). Los efectos significativos (para las cuatro variables involucradas) se exploraron con contrastes múltiples (test post hoc), en los cuales se empleó la corrección de Bonferroni para corregir la tasa de error global (Lenth, 2021).

Con la finalidad de determinar la significancia de las diferencias entre los tratamientos en función de las variables pH, Conductividad Eléctrica (CE), Densidad de Sustrato (DS), Densidad Aparente (DA), Humedad (H°), Materia Orgánica (MO), Poros de Aireación (PA), Capacidad de Retención de Agua (CRA) y Espacio Poroso Total (EPT), se realizaron Análisis de la Variancia (ANOVA) y prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

Con el fin de describir el comportamiento conjunto de las variables de granulometría, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y un gráfico biplot, donde se representaron las dos primeras componentes sobre ejes cartesianos (Abdi *et al.*, 2010). Se seleccionó, de cada componente, las variables que más contribuyen tomando como valor límite el 80% del mayor coeficiente para esa componente. Acompañando al biplot se muestra la salida del análisis multivariado cuyas pruebas de Hotelling corroboran lo expresado para el gráfico siguiente.

Para cumplir con el supuesto de Normalidad se transformó la variable $P > 5,56$ por Log_{10} .

Para el análisis de las variables químicas se realizó un ANOVA y posterior test de Tukey ($\alpha=0,05$), pero para cumplir con el supuesto de normalidad se transformó la variable Ca por potencia de 0,25.

Los análisis se realizaron con el programa InfoStat versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2019).

4- RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1- Análisis de las características físicas de los Tratamientos (sustratos)

4.1.1- Densidad del sustrato (DS) y Aparente (DA)

La densidad de sustrato más elevada fue la de T2, mientras que la más baja fue para T5. T1, T3 y T4 presentaron valores intermedios, sin diferencias entre T1 y T3 (Tabla 2). En cuando a la densidad aparente, el mayor valor también le correspondió a T2 ($1.028,33 \text{ kg.m}^{-3}$) y el menor valor a T5, aunque en este caso, los tres tratamientos intermedios no mostraron diferencias entre ellos. Es conocido que la densidad del suelo, principal componente de T2 (80% v/v), se aproxima a la densidad del cuarzo 2.650 kg.m^{-3} , ya que esta sustancia representa su principal material de composición (Hillel, 1980). Esto explicaría la mayor densidad de la mezcla de T2, disminuida en relación a la arena por la presencia de cascarilla de arroz en su composición (20% v/v), que es el sustrato con la menor densidad de los utilizados en esta experiencia.

Todos los tratamientos sin suelo (T1, T3, T4, y T5) estuvieron dentro del rango óptimo de densidad aparente ($<400 \text{ kg.m}^{-3}$) recomendados por Ansorena Miner (1994) y Abad *et al.* (2001), y las diferencias entre ellos son explicadas por ser sustratos heterogéneos (Kämpf, 2005). En cambio, el tratamiento con una importante proporción de suelo en la mezcla (T2) superó ampliamente el valor óptimo, lo cual dificultaría el manejo en cuanto a riego, traslado de sustrato y macetas, y transporte (Handreck y Black, 2002; Kämpf, 2005). Como tendencia, se observa que al aumentar el contenido de cascarilla de arroz en la mezcla los valores de densidad de sustrato y densidad aparente van disminuyendo (Tabla 2).

De acuerdo a estos resultados, si los viveristas pretenden continuar utilizando suelo como componente de los sustratos deberían reducir considerablemente su proporción en la mezcla. Por otro lado, debe considerarse que los valores de densidad pueden variar por el grado de comprensibilidad que tenga la mezcla en la maceta y por el arreglo de las partículas (Landis *et al.*, 1990).

Kämpf (2005) señala que los valores de referencia para la densidad aparente deben tener en

cuenta la altura y el volumen del contenedor de cultivo, y se recomienda el uso de formulaciones de hasta 400 kg.m⁻³ para contenedores de hasta 15 cm altura.

En un estudio Ludwig *et al.* 2010 evidenciaron que la presencia de suelo en la formulación de sustrato probados en el cultivo de *Gerbera jamesonni* Bolus ex Hook (gerbera) resultó en un aumento de la densidad del sustrato lo que dificultó el crecimiento de las raíces, especialmente en contenedores pequeños.

Tabla 2- Densidad de sustrato y densidad aparente de diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas de cítricos en maceta.

Tratamiento	Densidad de Sustrato (kg.m ⁻³)	Densidad Aparente (kg.m ⁻³)
T1	344,00 b	149,00 b
T2	1.170,00 a	1.028,33 a
T3	356,67 b	143,00 b
T4	275,33 c	150,67 b
T5	221,67 d	122,67 c
CV	2,44	2,65

Medias con una letra común en las columnas no son significativamente diferentes test de Tukey (p > 0,05)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): tierra negra + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.1.2- Humedad (H°)

T1 y T3 presentaron el mayor contenido de humedad (56,76 y 59,82%, respectivamente), mientras que el menor valor le correspondió a T2 (12,11%), con casi un 80% menos de contenido de humedad (Tabla 3). T4 y T5 presentaron valores intermedios, en torno al 45%, y sin diferenciarse entre ellos (Tabla 3). Para evitar problemas de humectación del sustrato en la maceta es conveniente que al momento de utilizarlo tenga aproximadamente 50% de humedad. Además, todas las mezclas elaboradas de materiales con altos contenidos de materia orgánica, deberían ser humedecidas al momento de su uso ya que algunos presentan propiedades hidrofóbicas, como la corteza de pino y la turba, lo que puede afectar el riego y la distribución del agua (Landis *et al.*, 1990).

Tabla 3- Contenido de humedad de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas de cítricas en maceta.

Tratamiento	Humedad (%)
T1	56,76 a
T2	12,11 c
T3	59,82 a
T4	45,38 b
T5	44,65 b
CV	3,09

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.1.3- Materia orgánica

Todos los tratamientos se diferenciaron entre sí para el parámetro de materia orgánica. El mayor valor se observó en T1 (80,3%), y el menor valor en T2 (6%) (Tabla 4), mientras que los demás tratamientos alcanzaron valores superiores al 68%. La materia orgánica de los sustratos presenta rangos de variación muy amplios, entre 0 y 90% según el/los tipos/s de materiales que lo componen (Valenzuela, 2006).

Según Araújo y Sobrinho (2011), el uso de materia orgánica mezclada con el suelo es una práctica común, porque además de proporcionar nutrientes a las plantas, también proporciona una mayor retención de agua y mejora la aireación del suelo para el desarrollo de las raíces de las plantas.

Un elemento importante a considerar en el manejo de los sustratos es su contenido de materia orgánica y su biodegradabilidad, ya que afecta las propiedades del sustrato, principalmente las físicas, dado que constituye la mayor parte de la fase sólida (Picken *et al.*, 2008). Así, por ejemplo, la cascarilla de arroz, a pesar que contiene una alta proporción de materia orgánica (Tabla 4) posee una baja degradabilidad por su alto contenido de sílice y por estar compuesto casi en un 85% de lignina y celulosa (Boyouni *et al.*, 2008). En cambio, el aserrín presentaría una degradabilidad mayor debido a que no posee sílice ni superficie cerosa;

además, junto a su capacidad de retención de agua y superficie específica es más propenso al ataque microbiano y a la degradación de la materia orgánica (Massey *et al.*, 2007).

Las características de los materiales orgánicos para el cultivo de plantas en contenedor son variables con el tiempo, y por lo general sus propiedades físicas tienden a modificarse en forma desfavorable para las plantas. Por ello, se tiene que procurar que las mismas sean muy propicias al inicio, o estar lo más cercano posible a lo considerado como ideal (Noguera *et al.*, 2004; Estévez *et al.*, 2009).

Cuando se emplea materiales orgánicos como aserrín de las diferentes especies forestales hay que tener en cuenta que el material fresco puede contener compuestos fenólicos que producen fitotoxicidad, por lo que se deberían usar materiales estabilizados (Mendéz *et al.*, 2009). Además, las propiedades físicas son difíciles de corregir después de establecido el cultivo, por lo que se deben crear desde el inicio las condiciones más apropiadas para la planta (Baumgarten, 2008; López y López, 2012).

Garibay *et al.* (2019), trabajando con 3 mezclas de sustratos, dos mezclas de materiales orgánicos (turba de musgo, aserrín de pino, corteza de pino), y una de materiales orgánicos e inorgánicos (turba de musgo, perlita y vermiculitas), obtuvieron una disminución al final del ensayo del contenido de materia orgánica en las mezclas de sustratos orgánicos, y no así en las mezclas con materiales inorgánico. En un estudio de Ludwig *et al.* (2010), se evidenció que la presencia de suelo en la formulación de los sustratos con bajo contenido de materia orgánica para el cultivo de *Gerbera jamesonii* Bolus ex Hook (gerbera) resultó en un aumento en la densidad de las mezclas, algo parecido lo que ocurrió en el tratamiento 2 de esta tesis.

Tabla 4- Contenido de Materia Orgánica de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta.

Tratamiento	Materia Orgánica (%)
T1	80,33 a
T2	6,00 e
T3	68,33 d
T4	73,33 c
T5	77,67 b
CV	1,12

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

4.1.4- Porosidad de aireación (PA)

La porosidad de aireación (PA) mostró la existencia de diferencias significativas entre todos los tratamientos; el menor valor correspondió a T2 (6%), lo que se atribuye al alto contenido de suelo en la mezcla de sustrato. El mayor valor de poros con aire correspondió a T5 con 76,67% (Tabla 5). También se aprecia que a medida que aumenta el contenido de cascarilla de arroz en las mezclas el valor de poros con aire aumentó.

T1 mostró una PA cercana al límite máximo del 30% propuesto por Poole *et al.* (1981) e Insausti (1993) para este parámetro, mientras que T3, T4y T5 presentaron valores al menos un 67% superiores al umbral máximo (Tabla 5). Si bien un alto volumen de aireación es una característica que favorece el libre drenaje, por otro lado, disminuye la capacidad de retención de agua lo que requiere de riegos más frecuentes para que el sustrato tenga un buen comportamiento agronómico (Raviv *et al.*, 2001).

En el otro extremo, se observa que T2 posee sólo 6% de porosidad de aireación, lo que ratifica la dificultad de cultivar plantas en macetas con el suelo como principal componente de la mezcla del sustrato. Los valores de aireación de T2 representan un medio con ausencia casi total de oxígeno para las raíces, destacando así la necesidad de mezclarlo con materiales de poros grandes (Spomer, 1980) en una proporción superior a la usada en esta tesis. Algunos

autores como Valenzuela (2006) recomiendan usar en la menor proporción posible o evitar el uso del suelo como componente de sustrato. Otros trabajos referidos a producción de plantas forestales (Reyes *et al.*, 2018) utilizaron 50% de suelo y 50% de estiércol v/v, obteniendo muy buenos resultados. Barbaro *et al.* (2014) en ensayos de sustratos con plantines florales utilizaron suelo al 10% v/v y los resultados que obtuvieron no fueron satisfactorios en cuanto al desarrollo de las plantas comparándose con otras mezclas sin suelo, pero no deberían ser descartarlos ya que se podría buscar otros componentes que puedan equilibrar mejor la relación de poros totales y la capacidad de retención de agua cuando se utiliza suelo, o evaluar una menor proporción aún de suelo en las mezclas de sustratos.

Tabla 5- Porosidad de aireación de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta

Tratamiento	Porosidad de aireación (%)
T1	32,00 d
T2	6,00 e
T3	50,33 c
T4	63,33 b
T5	76,67 a
CV	4,49

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v)

4.1.5- Capacidad de retención de agua (CRA)

El mayor valor para el parámetro capacidad de retención de agua correspondió a T1 (58,67%) y el menor valor para T5 (16,67%). T2, T3, y T4 presentaron valores intermedios; los dos primeros no se diferenciaron entre sí y presentaron valores más cercanos a T1, mientras que el T4 mostró valores más cercanos a T5 (Tabla 6).

Se puede apreciar que a medida que aumentó el volumen de cascarilla de arroz (T3, T4 y T5) el valor de capacidad de retención de humedad disminuyó. La retención de humedad según Abad *et al.* (1993) al menos debería alcanzar un valor mínimo del 50%. Se observó

que los tratamientos con mayor proporción de cascarilla de arroz (T4 y T5) presentaron baja capacidad de retención de humedad, muy alejados del valor óptimo mencionado. Las características del material, en relación con su capacidad de retención de agua, determinan la necesidad de riego, que en este caso condiciona los sistemas de riego con alta frecuencia, esto hace necesario aumentar el número de ciclos de riego y disminuir el volumen aplicado (Schafer et al., 2015)

Tabla 6- Capacidad de retención de agua de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta.

Tratamiento	Capacidad Retención Agua (%)
T1	58,67 a
T2	45,00 b
T3	41,33 b
T4	28,33 c
T5	15,67 d
CV	5,71

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

4.1.6- Espacio Poroso Total (EPT)

T2 fue la única mezcla que se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos, con el menor valor de espacio poroso total (51%), mientras que el resto de los tratamientos presentaron valores entre el 90 y 92,3%, sin que existan diferencias significativas entre ellos (Tabla 7). Un sustrato ideal para su uso en contenedores debería tener entre el 80 al 90% de espacio de poros totales (Jiménez y Caballero, 1990), por lo que este parámetro no se mostró limitante entre los tratamientos evaluados, con la excepción de T2.

Valenzuela y Gallardo (2003) se refieren al suelo como un material inadecuado para su empleo como sustrato en contenedores, basando esta afirmación en su bajo porcentaje de espacio poroso, que generalmente no supera el 50%, en coincidencia con los valores obtenidos en este ensayo.

Tabla 7- Espacio poroso total de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta.

Tratamiento	Espacios Porosos Totales (%)
T1	90,00 a
T2	51,00 b
T3	91,33 a
T4	91,33 a
T5	92,33 a
CV	2,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

Resultados similares se observaron en ensayos realizados por Yahya *et al.* (2010) quienes evaluaron el desarrollo de plantas de *Celosia cristata* trasplantadas en sustratos formulados con fibra de coco, perlita, fibra de kenaff y cascara de arroz. Las plantas con mayor altura, diámetro de tallo, tamaño de flores y área foliar fueron obtenidas en los sustratos formulados con fibra de coco puro o mezclado con 30% de perlita, fibra de kenaff o cascara de arroz. Los autores atribuyeron este resultado a la favorable PA (13 - 28%) y alta CRA (36 - 61%) de estas mezclas de sustratos.

Sanchez-Cordova *et al.* (2008), evaluaron mezclas de sustratos para la producción de plantas forestales similares a T3 (aserrín y cascarilla de arroz 75 - 25% v/v), aunque en este caso utilizando aserrín de pino y corteza de pino en una proporción de 80 - 20% v/v, respectivamente. Esta mezcla fue recomendada por los autores para la producción de plantas forestales debido a las favorables características físicas que mostró; porosidad total del 90%, porosidad de aireación de 20%, y una retención de humedad del 71%, siendo este último parámetro muy superior al de esta tesis.

Valenzuela *et al.* (2014) evaluó el comportamiento del portainjerto *Poncirus trifoliata* (L) con diferentes proporciones volumétricas de sustratos a base de turba y corteza de pino compostada y analizando las propiedades físicas como espacio poroso total (EPT), capacidad de retención de humedad (CRH) y poros con aire (PA), pudo observar que este portainjerto no presenta un buen desarrollo cuando la proporción de poros con aire es menor de 30%, comportamiento similar al observado para el portainjerto evaluado en esta tesis para T2, cuyo valor de poros con aire fue del 6%.

La técnica empleada en el llenado de macetas es una fuente de modificación de las relaciones agua-aire-sólidos en los sustratos. Estas van desde los métodos manuales hasta los más sofisticados de llenado automatizados. En la mayor o menor compresión que se ejerce para que ingrese más cantidad de material, se fuerzan a las partículas a acercarse mucho más unas a otras, con lo cual aumenta la densidad y disminuye la porosidad total (Gruda *et al.*, 2000). Algunas herramientas de llenado mecánico desagregan y quiebran las partículas de los sustratos, con consecuencias similares a la situación anterior (Heiskanen, 1993, 1994). También incide el contenido de humedad previo al llenado de las macetas; si el material está seco, al completarse el recipiente y regarse luego, las partículas secas se reordenan, decantan las más pequeñas, colocándose dentro de los espacios poros que forman las de mayor tamaño. Esto modifica las cualidades con que originariamente el viverista se propuso lograr con la mezcla, por lo que sería aconsejable humedecer los componentes de las mezclas momentos antes de que se proceda al envasado (Valenzuela *et al.*, 2014).

4.1.7- Granulometría

Analizando la granulometría, se observó que la mayor proporción de partículas finas <0,5 mm se encontraron en T2 (38,33%) seguido de T1 (33%). Las mezclas con aserrín y cascarilla de arroz (T3 y T4) presentaron proporciones similares de este tamaño de partícula (28,33%), mientras que disminuyó considerablemente en T5 (15,67%) (Tabla 8).

Para la fracción con tamaño de partícula comprendido entre 1,00 y 0,50 mm se observaron diferencias significativas entre T1 y T3, que acercaron valores al 25%, con respecto a T2, T4 y T5, cuyos valores fluctuaron entre 18,67 y 19,67%. En la fracción con tamaño de partícula comprendido entre 1,40 y 1,00 mm existieron diferencias significativas entre todos

los tratamientos, teniendo el mayor valor T5 (28,33%) y el menor T2 (7,67%).

El rango de los tamaños entre 2,00 y 1,40 mm presentó una distribución y un comportamiento de las mezclas con muchas similitudes a la fracción anterior (Tabla 8). Para la fracción entre 3,35 y 2,00 mm, T1 mostró el mayor valor (12%), seguido de T2 y T3. Finalmente, T4 y T5 presentaron los valores más bajos, aunque no se diferenciaron de T3.

Para el tamaño de partícula comprendido entre 4,75 y 3,35 mm, T1 y T2 presentaron los valores más altos (6,67 y 5,33%, respectivamente), disminuyendo con el aumento de la proporción de cascarilla de arroz en T3 (4,33%), T4 (3,00%) y T5 (2,33%). En el intervalo comprendido entre 5,56 y 4,75 mm, el mayor valor correspondió a T2 (3,00%) y el menor valor a T5 (1,00%).

Los tamaños de partícula $>5,56$ mm predominaron en T2 (12,33%) y T3 (8,00%), mientras que el menor valor le correspondió a T5 (2,00%), aunque sin diferenciarse estadísticamente de T1, T3 y T4 (Tabla 8).

Diferentes investigadores demostraron la estrecha relación entre tamaño de partícula y la capacidad de retener agua para diferentes sustratos (Marfá *et al.*, 1999; Raviv *et al.*, 2001; Fernandes y Corá, 2004). Cuando predominan tamaños de partículas inferiores a 0,01 mm, la mayor parte de los poros serán de diámetros tan finos que el agua permanecerá fuertemente retenida y no estará disponible para las plantas.

Si en los sustratos la mayor parte de las partículas comprenden tamaños que van desde 0,01 a 0,80 mm retienen gran parte del agua aplicada, pero a su vez es aprovechable por las plantas.

Cuando el tamaño de partículas incrementa a un rango de 0,80 a 6,00 mm, la cantidad de macroporos es mucho más elevado que en los dos tipos de medios anteriores, aumentando el espacio ocupado por aire luego de un riego y el drenaje del agua gravitacional; y por encima de 6,00 mm de tamaño de partículas, prevalecen los macroporos (Drzal y Fonteno, 1999).

Las fracciones granulométricas de cada material son una de las propiedades físicas

fundamentales de los sustratos, teniendo gran influencia sobre las demás propiedades, especialmente en la porosidad (Raviv y Lieth, 2008). Las partículas mayores a 1,00 mm dan lugar a poros grandes y las menores a conforman poros medianos a pequeños, estos últimos proporcionan retención de agua y los poros grandes, aireación (Noguera *et al.*, 2004).

La mayoría de las partículas deben encontrarse entre 0,50 y 4,00 mm, para lograr una buena relación entre los poros con agua y aire (Cabrera, 2003; Ballester Olmos, 1993). En este trabajo se observó que T2, al contener suelo como componente principal de la mezcla, tiene muchos poros < 0,50 mm, y pocos > 1,00 mm, pero en los últimos 3 tamaños de partículas se aprecia los valores más alto, pero con poca proporción de poros intermedios (1,00 mm y 2,00 mm). Esto resulta en el menor porcentaje de poros con aire 6,00% y espacio poroso total 51,00%, y una capacidad de retención de agua del 45,00%. Caso contrario ocurre en T5 que presenta bajo porcentaje de poros pequeños (15,67%), y muchos > 1,00 y en porcentajes más altos entre 1,00 mm y 2,00 mm, lo que resultó en una mezcla con un alto porcentaje de poros con aire (76,67%) y baja capacidad de retención de agua (15,67%).

Trabajos realizados por Handreck (1983), citado por Heiskanen (1993), demostraron que cuando se incrementan las partículas de corteza de pino de 0,20 a 10,00 mm, se produce un incremento significativo de los poros con aire de 2,00 a 64,00%.

Barbaro *et al.* (2014) realizando ensayos de sustratos compuestos por suelo, pinocha y turba, obtuvieron resultados similares a T2 de este trabajo, con predominio de las partículas < 0,50 mm.

Tabla 8- Distribución del tamaño de partículas (mm) para diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta.

Prueba de Hotelling Alfa=0,05									
Tratamiento	>5,56	5,56-4,75	4,75-3,35	3,35-2,0	2,0-1,4	1,4-1,0	1,0-0,5	<0,5	
T1	0,67	1,33	6,67	12,00	10,00	10,67	25,67	33,00	a
T2	12,33	3,00	5,33	7,33	7,33	7,67	18,67	37,33	b
T3	8,00	2,00	4,33	5,67	12,33	15,33	24,00	28,33	c
T4	3,00	1,67	3,00	4,33	19,00	21,67	19,33	28,33	d
T5	2,00	1,00	2,33	5,33	25,67	28,33	19,67	15,67	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey (p > 0,05)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v),

T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

La representación Biplot muestra las dos primeras componentes resultantes del ACP de los tratamientos en un entorno multivalente, las que conservan el 93,60% de la variabilidad total. La primer Componente (CP1) conserva el 62,90% de la variabilidad de los datos y las variables que están explicadas por dicha componente son $P < 0,5$, (P 1,40 — 1,00), P 2,00 — 1,40 y P 4,75 — 3,35. La segunda Componente (CP2) conserva el 30,70% de la variabilidad y las variables que están explicadas por dicha componente son P 1,00 - 0,50, P 3,35 - 2,00, P 5,56 - 4,75 y $P > 5,56$. En la figura 27 se observa que salvo T4 y T5, los tratamientos no están agrupados, sino dispersos en cuadrantes distintos, indicando características diferentes en las mezclas. T1 se destaca por la mayor cantidad de partículas P 4,75 — 3,35, $P < 0,50$ y P 3,35 — 2,00, y mayor capacidad de retención de agua. El T2 se ubica con una mayor cantidad de poros de $P > 5,56$ y (P 5,56 — 4,75, mayor densidad aparente y densidad de sustrato. T3 tiene valores de granulometría intermedios, y altos valores de EPT (91,33%) y H° (59,88%). T4 y T5 presentan mayor proporción de partículas de tamaño P 1,40 — 1,00 y P 2,00 — 1,40, y mayor proporción de poros de aire (Fig. 27).

El tamaño de partícula ideal depende del uso. Para Abad *et al.* (2004) se prefieren los materiales con una textura de media a gruesa, equivalente a una distribución de partículas entre 0,25 y 2,50 mm, lo que va acompañado de una retención suficiente de agua fácilmente disponible con un contenido de aire adecuado.

En muestras evaluadas por Abad *et al.* (2004), un 65% de las partículas se encuentran entre 2,00 y 0,30 mm, indicando una proporción equilibrada de partículas de tamaño intermedio, aunque también hay una importante cantidad de material fino (25%) que no es favorable para el uso ni el manejo de sustratos para plantas. El 10% restante, mayor a 3,35 mm, completa el estudio granulométrico. Similares a los resultados granulométricos de este trabajo.

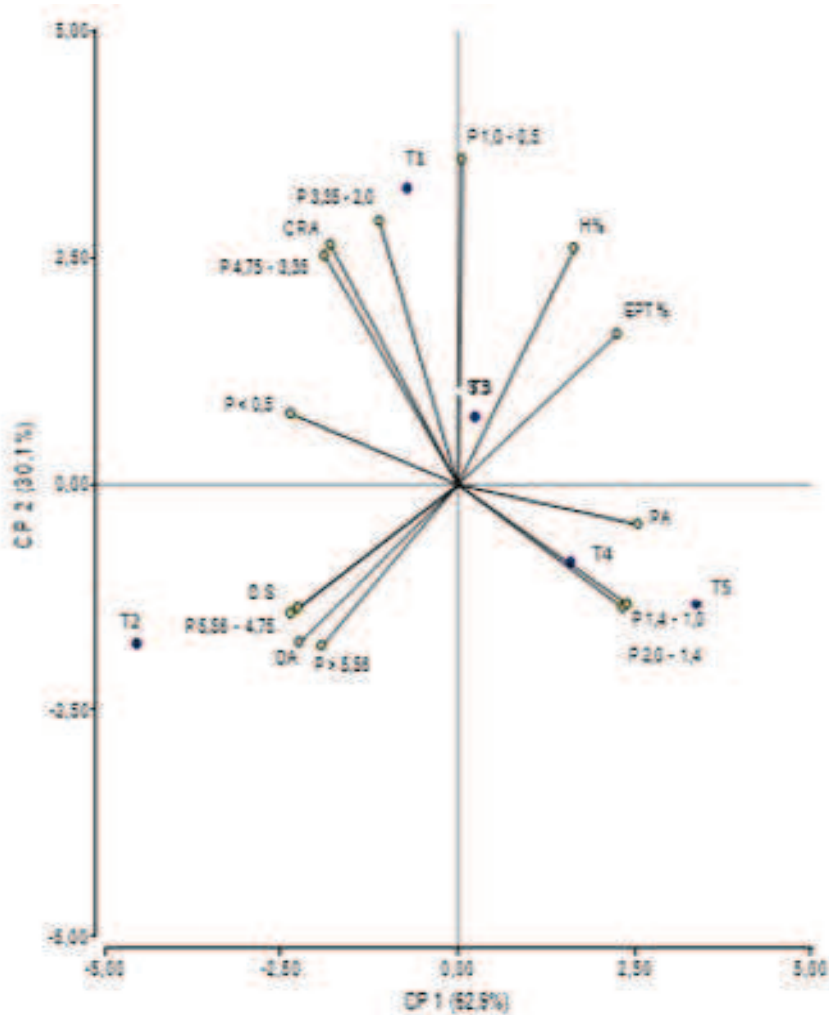


Figura 27- Biplot resultante del comportamiento de los tratamientos con respecto a las propiedades físicas

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v) DA: densidad aparente, DS; densidad del sustrato, PA; porosidad de aireación, EPT: espacio poroso total, CRA: capacidad de retención de agua, H°: humedad.

4.2- Análisis de las propiedades químicas de los Tratamientos (sustratos)

4.2.1- Potencial Hidrógeno (pH)

T5 presentó el mayor valor de pH (5,36), mientras que T1 el más bajo (4,12). T2, T3 y T4, presentan valores intermedios sin diferenciarse entre sí (Tabla 9).

Estos valores bajos de potencial hidrogeno pH en los diferentes sustratos pudo deberse que las mediciones de los sustratos se hicieron con fertilizantes de liberación lenta aproximadamente unos 45 días después, esto provoco una liberación de iones hidrogeno producidos por el proceso de nitrificación. (Mattos *et al.*, 2010). Estos valores arrojados en el análisis no son los mejores para producir plantines cítricos en macetas, las plantas en su desarrollo no manifestaron síntomas de pH ácido como se ve reflejado en la tabla, quizás si la medición se realizaba en el momento del trasplante esos valores hubieran sido distintos. Los valores de pH de los materiales puro fueron de 5,80 para aserrín y 6,80 para la cascara de arroz.

La gran mayoría de las especies cítricas cultivadas en sustratos se desarrollan en rangos de pH entre 5,50 y 6,30 debiendo ser el medio ligeramente ácido (Boaventura, 2003). Muchos de los materiales que se utilizan para compostar tienen pH alcalinos, el hecho de que el suelo mineral tenga naturalmente un pH ácido es lo que intensifica el uso de los elementos mencionados anteriormente en la mayoría de los viveros medianos y pequeños; sin embargo, hay materiales que tienen un pH ácido y que pueden usarse para reemplazar el suelo mineral, como las acículas el aserrín de *Pinus* sp. (Ceccagno *et al.*, 2019).

La mayoría de los componentes orgánicos de un sustrato son ácidos y contienen niveles bajos de nutrimentos disponibles (Bunt, 1988). Se recomienda agregar una cantidad suficiente de cal dolomítica al sustrato para elevar el pH a un nivel adecuado (usualmente 5,50 a 6,00). Además, la cal suplirá de calcio y magnesio que son esenciales para un buen crecimiento radical. Estos elementos (Ca y Mg) son retenidos (adsorbidos) por el sustrato; no son fácilmente lixiviables, por lo que quedarán disponibles para la planta por períodos largos (Farnham *et al.*, 1985). En base a los resultados obtenidos, deberá considerarse en el futuro la adición de estas sustancias ya que el pH estuvo por debajo del recomendado en todos los tratamientos, o analizar su evolución a partir del agregado de los fertilizantes de liberación lenta.

El pH del agua de riego fue de 6,80 por lo que es la considera un agua segura para riego, y no debería alterar las condiciones de pH en el medio del cultivo.

Tabla 9- Potencial hidrógeno de los tratamientos de diferentes mezclas de sustrato utilizadas para la producción de plantas cítricas en maceta.

Tratamiento	pH
T1	4,12 c
T2	4,97 b
T3	4,94 b
T4	4,95 b
T5	5,36 a
CV	1,48

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.2- Conductividad eléctrica (CE)

Analizando la variable conductividad eléctrica, se observó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Los valores observados fueron elevados para la producción de plantines de cítricos, esto también podría deberse al tiempo y la temperatura a las que permanecieron las muestras con fertilizantes de liberación lenta, en las bolsas, hasta su análisis, lo cual provocó que los nutrientes se liberen más rápido y como consecuencia de ello, se obtuvieron valores altos en el laboratorio. Las plantas en el vivero no manifestaron síntomas de ninguna de las propiedades químicas como alta conductividad y bajo pH, los valores de conductividad eléctrica de los materiales puros fueron para el aserrín 0,06 ds.m⁻¹ y 0,33 ds.m⁻¹ la cascara de arroz.

El menor valor correspondió a T2 (2,53 ds.m⁻¹) y T5 (3,04 ds.m⁻¹); y el más alto para el T1 (3,83 ds.m⁻¹), aunque sin diferenciarse de T3 y T4 (Tabla 10). Los valores obtenidos en todos los casos fueron altos considerando que los sustratos deben tener baja salinidad (Abad *et al.*, 1993). La Conductividad eléctrica (CE) máxima de los sustratos, recomendada para la mayoría de las plantas es de 1,80 ds m⁻¹ (Ansorena Miner, 1994). En cítricos jóvenes podrían variar de 0,80 ds.m⁻¹ hasta 1,80 ds.m⁻¹ en plantas para trasplante (Boaventura, 2003).

En trabajos con aserrín y cascarilla de arroz, Leconte (2010) obtuvo valores de conductividad eléctrica de $0,40 \text{ ds.m}^{-1}$, los que resultan muy inferiores a los encontrados en este trabajo.

Las medidas que pueden ayudar a mitigar los efectos de la salinidad son el mantener el sustrato húmedo, hacer compostaje en lugar de estacionado del material, ya que se lavarían las sales a medida que se humedece la pila. También evitar hacer aplicaciones de fertilizante granular o soluciones nutritivas concentradas cuando el sustrato esté seco, y reducir la demanda evaporativa usando media sombra y/o elevando la humedad relativa (Cabrera, 1996; Nelson, 1991). En este trabajo se mantuvo siempre con adecuada humedad a través del riego; y dentro del invernadero la humedad relativa fue alta y se usó media sombra, aspectos que mitigaron los efectos de la CE.

Tabla 10- Conductividad eléctrica (CE) medida en diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas

Tratamiento	CE (ds.m^{-1})
T1	3,83 a
T2	2,53 c
T3	3,69 ab
T4	3,45 ab
T5	3,04 bc
CV	7,98

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v)

4.2.3- Nitratos (NO_3)

Para el contenido de nitratos, se observó el mayor valor en T5 con $8,00 \text{ g.l}^{-1}$ de muestra húmeda, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Entre T1 ($5,61 \text{ g.l}^{-1}$) y T2 ($6,07 \text{ g.l}^{-1}$) no se observaron diferencias significativas, pero si con T3 y T4. El menor valor le correspondió a T4 con $2,27 \text{ g.l}^{-1}$ de muestra húmeda (Tabla 11).

Tabla 11- Contenido de NO₃ en g.l⁻¹ de muestra húmeda en las diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas cítricas en macetas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NO ₃	15	0,99	0,98	5,48

Tratamientos	medias	n	E.E.	
T1	5,61	3	0,16	b
T2	6,07	3	0,16	b
T3	3,13	3	0,16	c
T4	2,27	3	0,16	d
T5	8,00	3	0,16	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.4- Fosfatos (PO₄)

Para la variable fosfato, se observaron los mayores valores en T1 y T3, con 0,86 g.l⁻¹ y 0,78 g.l⁻¹ de muestra húmeda, respectivamente, los cuales se diferenciaron significativamente del resto. T4 y T5 presentaron valores intermedios y no se diferenciaron entre sí. T2 presentó el menor valor (0,10 g.l⁻¹ de muestra húmeda) (Tabla 12).

Tabla 12- Contenido de PO₄ en g.l⁻¹ de muestra húmeda medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PO ₄	15	0,97	0,96	9,59

Tratamientos	medias	n	E.E.	
T1	0,86	3	0,03	a
T2	0,10	3	0,03	c
T3	0,78	3	0,03	a
T4	0,61	3	0,03	b
T5	0,55	3	0,03	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.5- Cation Potasio (K^+)

En el contenido de potasio, se observó el mayor valor en T3 con $4,88 \text{ g.l}^{-1}$ de muestra húmeda y sólo se diferenció significativamente de T2 ($3,58 \text{ g.l}^{-1}$). Entre los demás tratamientos no hubo diferencias significativas. Los valores de T1, T4 y T5 fueron intermedios y no difirieron entre sí, ni con los tratamientos extremos (Tabla 13).

Tabla 13- Contenido de K^+ en g.l^{-1} de muestra húmeda medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K^+	15	0,57	0,40	10,98

Tratamientos	medias	n	E.E.		
T1	4,23	3	0,26	a	b
T2	3,58	3	0,26		b
T3	4,88	3	0,26	a	
T4	3,97	3	0,26	a	b
T5	4,02	3	0,26	a	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.6- Cation Calcio (Ca⁺⁺)

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, con valores fluctuando entre 0,35 y 1,36 g.l⁻¹ de muestra húmeda, Estos valores muy bajos podrían deberse que el fertilizante aportado no posee calcio en su formulación (Tabla 14).

Tabla 14- Contenido de Ca⁺⁺ en g.l⁻¹ de muestra húmeda medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca ⁺⁺	15	0,49	0,29	47,85

Tratamientos	medias	n	E.E.	
T1	1,11	3	0,25	a
T2	1,36	3	0,25	a
T3	1,07	3	0,25	a
T4	0,70	3	0,25	a
T5	0,35	3	0,25	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey (p > 0,05)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.7- Cation Magnesio (Mg⁺⁺)

Se observó que T1 presentó el mayor valor de magnesio y se diferenció del resto. Por su parte, T2 se diferenció estadísticamente del T5, pero no así del T3 y T4 (Tabla 15). En el otro extremo, T5 presentó el valor más bajo, sin diferenciarse de T3 y T4.

Tabla 15- Contenido de Mg⁺⁺ en g.l⁻¹ de muestra húmeda medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg ⁺⁺	15	0,93	0,90	19,41

Tratamientos	medias	n	E.E.		
T1	1,33	3	0,07	a	
T2	0,72	3	0,07		b
T3	0,49	3	0,07	b	c
T4	0,39	3	0,07	b	c
T5	0,32	3	0,07		c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.2.8- Cation Sodio (Na⁺)

En el análisis del catión Sodio T1 presentó el mayor valor (0,59 g.l⁻¹), diferenciándose del resto de los tratamientos. T2 se diferenció significativamente de T4 y T5, no habiendo diferencias entre los tratamientos T3, T4 y T5, que mostraron los valores más bajos (Tabla 16).

Tabla 16- Contenido de Na⁺ en g.l⁻¹ de muestra húmeda medida en las diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas cítricas en macetas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg ⁺⁺	15	0,92	0,89	11,23

Tratamientos	medias	n	E.E.		
T1	0,59	3	0,02	a	
T2	0,42	3	0,02		b
T3	0,37	3	0,02	b	c
T4	0,28	3	0,02		c
T5	0,27	3	0,02		c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla

Los materiales puros antes de la mezcla contenían muy baja conductividad eléctrica, es por eso que los valores de los nutrientes presentados en las tablas pudieron estar influenciados

por la liberación del fertilizante durante el período de almacenado de las muestras previo a su análisis.

El medio donde crecen las plantas debe tener un adecuado balance entre macro y micronutrientes, oxígeno y agua (Vinciguerra y Foguet, 1983). La extracción de nutrientes en plantas cítricas producidas en sustratos fueron medidas por Castle y Rouce (1990) en cuatro viveros comerciales en Florida, Estados Unidos, donde se observó que la extracción de NPK fue de 0,70; 0,10 y 0,50 gramos por planta y por día, respectivamente. Esos valores son muy inferiores a los encontrados por Bernardi (1999) quien reporta 1,40; 0,11 y 1,89 gramos por planta, respectivamente. Este último ensayo se realizó en el estado de San Pablo (Brasil), lo que demuestra que hay gran disparidad de los resultados.

Esas diferencias en los resultados experimentales pueden estar relacionadas a diferentes tamaños de contenedores y pérdidas de nutrientes por lixiviación y volatilización en el caso de nitrógeno (Castle y Rouse, 1990); verificándose que las cantidades de nutrientes absorbidos por las plantas cítricas eran de apenas el 5 al 20% del total de nutrientes aplicados, siendo que su pérdida fue mayor en plantas producidas en sustratos que a campo.

De modo general las pérdidas de nutrientes están muy asociadas al manejo de riego que se realice y al tipo de fertilización a utilizar. Es por eso que para disminuir perdidas en esta tesis se buscó utilizar fertilizante de liberación lenta y hacer lo más parecido a los viveros de la zona que no usan fertirriego. Precisamente, Boaventura *et al.* (2004) realizaron un ensayo para evaluar la utilización de los fertilizantes, ya sea por fertirriego o con fertilizantes de liberación lenta. Los fertilizantes que se absorbieron y se lixiviaron fueron prácticamente igual en ambos sistemas, por lo cual se puede decir que el productor debería elegir el manejo de acuerdo al costo del fertilizante y a la tecnología con la que cuenta su vivero.

4.3- Propiedades biológicas: Índice de germinación

Este análisis se realizó a los sustratos que se obtuvieron mezclando cascarilla de arroz, aserrín de *Eucalyptus* sp con el fertilizante de liberación lenta incorporado. (Fig. 28).



Figura 28- Caja de petri con semillas de lechuga germinadas en solución de extracto diluido al 25%

Se realizó el análisis de regresión múltiple para el índice de germinación. Dicho modelo arrojó buen ajuste (Tabla 17), con efectos altamente significativos para los tratamientos y la concentración de la solución extraída del sustrato (Tabla 18)

Tabla 17- Análisis de regresión lineal para índice de germinación en función de los tratamientos y la concentración de la solución extraída de los mismos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
I.G.	36	0,92	0,92	30,59	222,00	229,92

Tabla 18- Cuadro de análisis de la Varianza para el índice de germinación (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9098,85	3	3032,95	127,55	<0,0001
Concentración	7676,67	1	7676,67	322,83	<0,0001
Tratamiento	1422,18	2	711,09	29,90	<0,0001
Error	760,93	32	23,78		
Total	9859,78	35			

La tabla 19 de comparaciones múltiples muestra que T3 presentó el mayor valor de índice de Germinación (58,20).

Tabla 19-Comparaciones múltiple entre tratamientos: índice de germinación

Tratamiento	medias	n	E.E.	
T3	58,30	12	1,39	a
T4	43,85	12	1,39	b
T5	46,48	12	1,39	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Duncan ($p > 0,05$)

T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/ v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

El Índice de germinación es uno de los parámetros más sensibles para evaluar la toxicidad que afecta el crecimiento de raíces y la germinación (Bernal *et al.*, 2009). En bioensayos de fitotoxicidad realizados por (López-Clemente *et al.*, 2015), utilizando compost de residuos agrícolas (bagazo de caña, cascara de naranja y paja de trigo), la solución al 25% (sin importar el tipo de extracto) tuvo significativamente el mayor índice de germinación (159,7), y a medida que se aumentó la concentración de la solución, este índice disminuyó significativamente. En cambio, el extracto de cascara de naranja mostró el menor índice de germinación (28,51), lo que estaría suponiendo una alta presencia de sustancia fitotóxicas (Zucconi *et al.*, 1981; Varnero *et al.*, 2007).

La fitotoxicidad puede ser el resultado de varios factores como la acumulación de compuestos tóxicos (ácidos orgánicos y compuestos fenólicos), inmovilización de nitrógeno, presencia de metales pesados y sales minerales (Epstein, 1997). En la experiencia de esta tesis podríamos atribuir el bajo índice de germinación a la cantidad de sales incorporadas con el fertilizante, y al efecto del estacionado de los componentes de las mezclas del sustrato. También se observó una tendencia de disminución del índice de germinación con el aumento de la proporción de cascarilla de arroz en la mezcla, aunque los resultados entre T4 y T5 no arrojaron diferencias entre sí.

Calderón (1989) menciona que para utilizar la cascarilla de arroz es recomendable realizar una descomposición para lavar ciertos almidones, que pueden traer problemas posteriores en la producción. Esto se consigue compostando, mojando y volteando la cascarilla para facilitar la entrada de oxígeno, por al menos una semana. La disminución de los efectos

negativos durante el compostaje son el resultado de la degradación de sustancias como los ácidos orgánicos generados por los microorganismos. La cáscara de arroz es un material resistente al ataque de microorganismos lo que hace que deba estar más tiempo estacionado o compostado (Bernal *et al.*, 2009). En este trabajo no se realizó un compostado, solo hubo un estacionado de los materiales, y lo obtenido pone en duda la eficiencia de este proceso. Durante el procesode estacionado no se controla la humedad, la que debe estar en un rango óptimo para el compostaje entre 40% a 65%. A valores inferiores, resulta insuficiente para la actividad microbiana, y por encima es insuficiente la concentración de oxígeno (Rynk, 1992; Titko *et al.*, 1996). Cuando la concentración de oxígeno es baja, se producen procesos fermentativos que conducen a la producción de ácidos orgánicos volátiles y amoníaco, y olores desagradables (Michel y Reddy, 1998).

Gariglio *et al.* (2002) en ensayos con aserrín de sauce (*Salix* sp) observaron que los efectos del compostaje hicieron disminuir las sustancias fitotóxicas pasando de un índice de germinación de 5% previo al compostaje, al 93,30% luego de 40 días de este proceso, para estabilizarse a partir de esta fecha. Estos resultados estarían indicando la necesidad de reemplazar el proceso de estacionado por el compostaje en ambos componentes de la mezcla de sustratos utilizados en esta tesis. Si bien el estacionado es prolongado en el tiempo, es evidente que las condiciones no son las adecuadas para la degradación de las sustancias fitotóxicas ni tampoco para el lavado de las sales.

4.4- Resultados de las variables de la planta

4.4.1- Altura de la planta (AP)

En la Figura 29 se grafican las estimaciones de la altura. La misma permite apreciar el comportamiento diferencial del T3, cuya altura estimada a los 129 días fue de 74,19 cm, superando en 12,49 cm a T1 que presentó 61,7 cm en la misma fecha.

En cambio, el menor valor correspondió para T2 con 17,41 cm en la última fecha, lo que representa 4 veces menos de altura con respecto a T3.

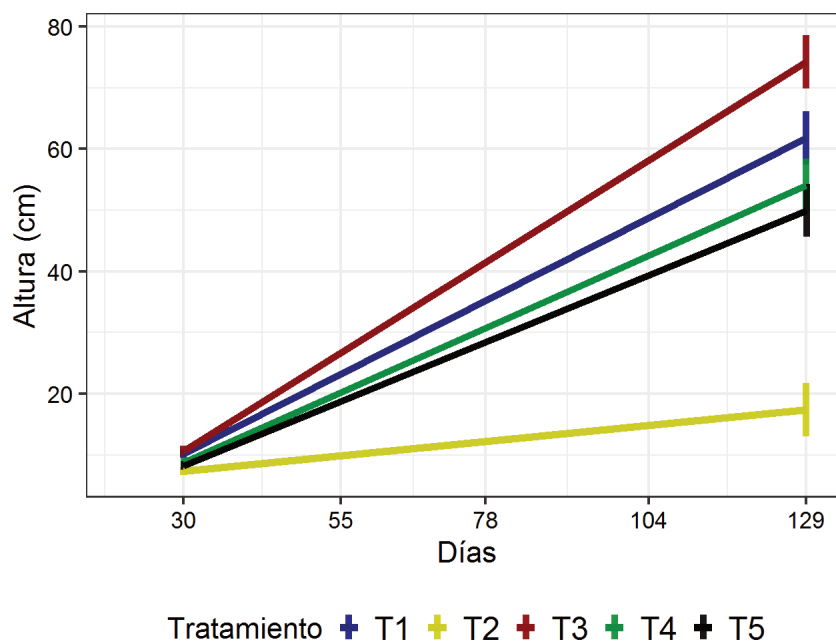


Figura 29- Comportamiento de la variable Altura de Planta en función del tiempo en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas. Estimación de la tendencia temporal

El resultado de los contrastes múltiples (Tabla 20), muestra que el tratamiento T3 presentó una tendencia temporal significativamente diferente al resto de los tratamientos evaluados. En términos relativos, se observó que, respecto al segundo tratamiento con mejor performance (T1), la pendiente de T3 resultó un 23% superior. Entre T1 y T4 no hubo diferencia significativa, como tampoco entre T4 y T5. La menor pendiente fue para T2, que se diferenció del resto de los tratamientos.

Tabla 20- Contrastes múltiples de las tendencias marginales de la altura de plantines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados

Tratamiento	Tendencia marginal	E.E.	gl	LI	LS	Grupo ^a
T1	0,52	0,021	484	0,479	0,562	b
T2	0,102	0,021	484	0,06	0,143	d
T3	0,642	0,021	484	0,601	0,684	a
T4	0,457	0,021	484	0,415	0,498	bc
T5	0,421	0,021	484	0,38	0,463	c

^aLetras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento temporal de la variable altura alfa de 0,05 corregido por Bonferoni

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.4.2- Diámetro de tallo (DT)

El diámetro es un parámetro importante en viveros, su crecimiento rápido significa poder injertar en forma anticipada, y por lo tanto poder comercializar las plantas en menor tiempo (Souza y Schäfer, 2006).

La Tabla 21 presenta el resultado de los contrastes múltiples, controlando la tasa del error global mediante Bonferroni. Se observó la ocurrencia de tres grupos homogéneos, el primero agrupa a T3 con T1 como los de mejor performance (3,88 y 4,08 mm, respectivamente), en el segundo se encuentran T5 y T4 (3,28 y 3,36 mm, respectivamente), y por último a T2 (1,90 mm). (Fig. 30).

Tabla 21- Contrastes múltiples de las tendencias marginales del diámetro de plantines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados

Tratamiento	Tendencia marginal	EE	gl	LI	LS	Grupoa
T1	0,023	0,001	484	0,021	0,025	a
T2	0,004	0,001	484	0,002	0,006	c
T3	0,026	0,001	484	0,024	0,028	a
T4	0,018	0,001	484	0,016	0,02	b
T5	0,019	0,001	484	0,017	0,021	b

^aLetras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento temporal de la variable altura, alfa de 0,05 corregido por Bonferroni.

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

La Figura 30 presenta gráficamente las estimaciones del comportamiento temporal del diámetro del tallo para los tratamientos evaluados. En la misma se aprecian claramente los tres grupos especificados en la Tabla 21.

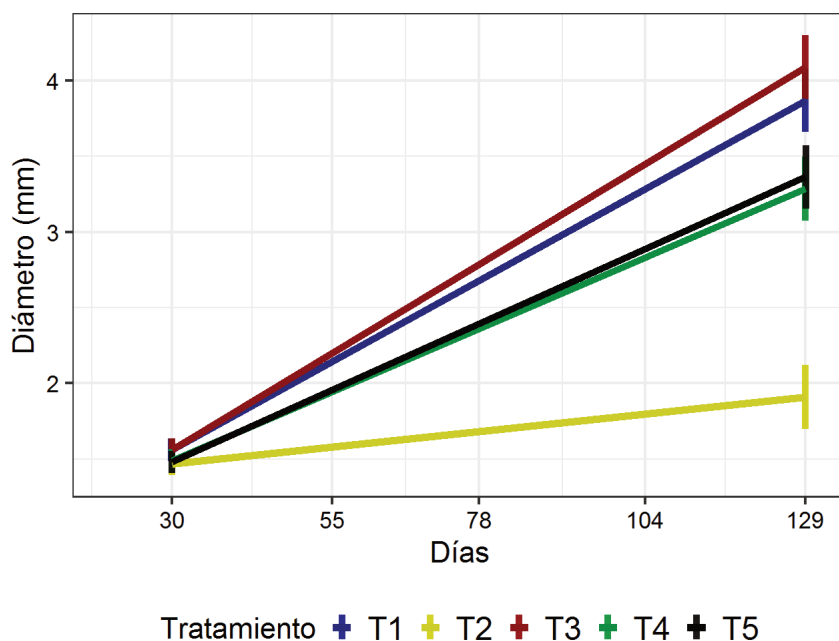


Figura 30- Comportamiento de la variable Diámetro de tallo en función del tiempo en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas.

4.4.3- Número de hojas por planta (NH)

La tabla de contrastes múltiples para el número de hojas (Tabla 22), denota que el T3 presentó el mejor comportamiento y que el mismo fue significativamente mayor al resto.

Tabla 22- Contrastes múltiples del número de hojas en plántines de citrus en las diferentes mezclas de sustratos utilizados

Tratamiento	Media marginal	EE	gl	LI	LS	Grupo ^a
T1	10,75	0,32	Inf	9,96	11,61	b
T2	8,67	0,29	Inf	7,96	9,44	c
T3	12,53	0,35	Inf	11,67	13,45	a
T4	9,47	0,3	Inf	8,73	10,28	c
T5	9,72	0,3	Inf	8,97	10,53	bc

^aLetras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento temporal de la variable número de hojas, alfa de 0,05 corregido por Bonferroni.

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5:

aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

El número promedio de hojas siempre fue superior en T3. Adicionalmente, T2 presentó el menor número de hojas y las diferencias con T4 y T5 se hicieron más notorias con el tiempo (Fig. 31).

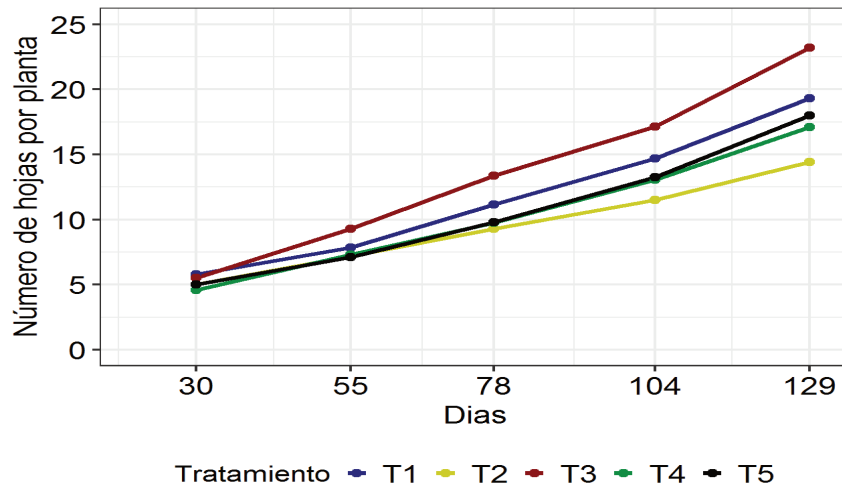


Figura 31- Comportamiento temporal del número de hojas en función del tiempo en las diferentes mezclas de sustratos utilizados para la producción de plantas cítricas en macetas

4.4.4- Índice Spad

Con respecto a este parámetro se destaca que T5 presentó el menor valor, sin diferenciarse estadísticamente de T4 (Tabla 23). En tanto que el cambio diario del valor spad fue de -0,48 (resumen del modelo C en Anexo).

Tabla 23- Contrastes múltiples de las medias marginales para el valor spad en plantines de citrus en diferentes mezclas de sustratos utilizados en cinco tipos de sustrato

Tratamiento	Media Marginal	EE	gl	LI	LS	Grupo ^a
T1	53,01	1,88	390	49,32	56,7	a
T2	49,9	1,86	390	46,25	53,55	a
T3	53,84	1,86	390	50,2	57,49	a
T4	48,17	1,86	390	44,52	51,82	ab
T5	42,49	1,86	390	38,85	46,14	b

^aLetras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento temporal de la variable altura, alfa 0,05 corregido por Bonferroni.

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): Suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

El gráfico de box-plot de la variable índice spad, en la última fecha de medición, muestra que el comportamiento de la variable resultó atípico. La variabilidad observada fue alta y la evolución del valor no fue el esperable (Cunha *et al.*, 2015). Con la información disponible no se puede justificar la caída de la penúltima fecha.

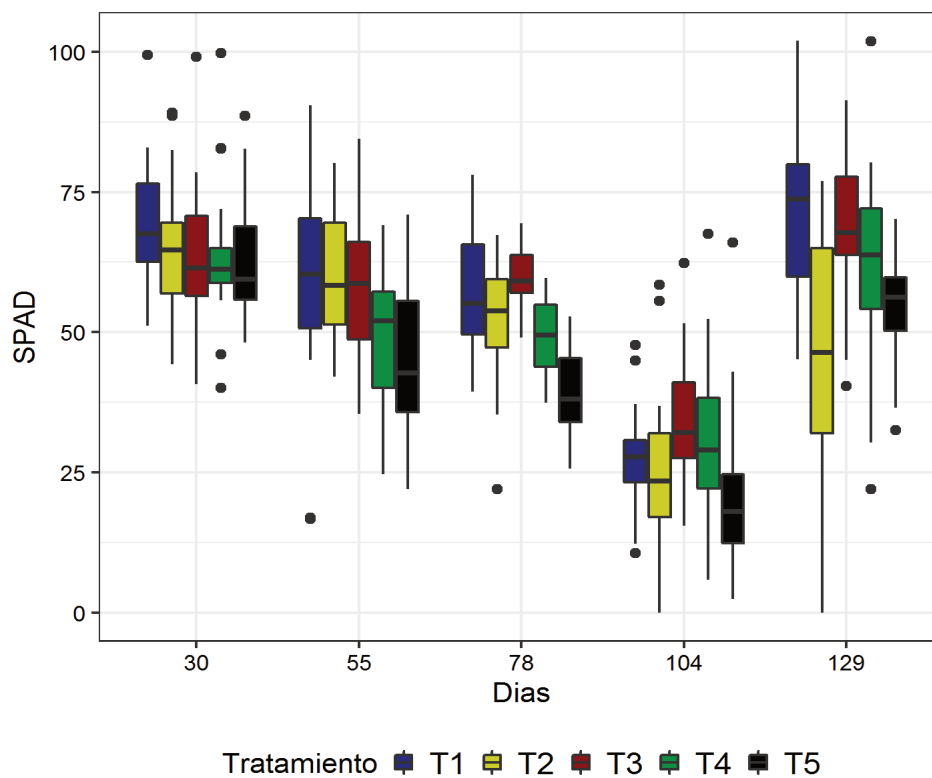


Figura 32- Evolución del índice spad en función del tiempo en las diferentes mezclas de sustratos utilizados en la producción de plantas cítricas en macetas.

En fruticultura el análisis foliar es una técnica muy difundida como diagnóstico del estado nutricional de las plantas (Guimaraes *et al.*, 1999), pero esta técnica tiene algunas desventajas como el tiempo que demanda tomar las muestras y su análisis, el uso de mano de obra y los altos costos de los equipos especializados. Según Guimaraes *et al.* (1999), los métodos alternativos que utilizan equipos portátiles permiten el diagnóstico y monitoreo de nitrógeno (N) para la nutrición de la planta de una manera más rápida y no destructiva en el campo. Por lo tanto, se puede evaluar el estado nutricional de una planta con relación al nitrógeno en las hojas a través del índice spad (León *et al.*, 2007). Sin embargo, deben conocerse las limitaciones que posee el método, debería tener una buena calibración y específica para cada cultivo, de lo contrario podría provocar errores de lectura.

El índice spad es consecuencia de una compleja relación de factores que modifican la cantidad de nitrógeno fijado en estructuras fotosintéticas, como puede ser la cantidad de nitrógeno aportado, la recirculación de las reservas (León *et al.*, 2007). Por otro lado, la expansión foliar hace que se diluya la cantidad de nutrientes y provocar una disminución

de los valores spad, aspectos que no fueron evaluados en este trabajo.

Dutra Degli Esposti *et al.* (2011), evaluaron la nutrición nitrogenada (N) en portainjertos de limonero Cravo (*Citrus limonia* Osbeck), Volkameriano (*Citrus volkameriana* Ten. E Pasq.), mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. Ex Tan.), y Sunki (*Citrus sunki* Hort. Ex Tan.), utilizando el índice spad y encontraron unacorrelación positiva de este parámetro con la altura de la planta, el diámetro del tronco, la producción de materia seca de hoja, tallo y raíz, el número de hojas y el área foliar de las plantas.

En trabajos realizados en plantas de lisianthus (Cunha *et al.*, 2015) se observó que los valores spad presentan una tendencia decreciente, lo que se atribuye a que durante el inicio del desarrollo vegetativo la planta se encuentra en la plenitud del proceso fotosintético. Se podría decir que en este trabajo ocurrió algo similar, pero con mayor variabilidad, valores altos al principio y menores valores de unidades spad al final, menos en la última fecha de medición donde ocurrió un aumento de los valores, por lo que posiblemente hubo un error en el equipo

4.4.5- Masa Fresca (MFT) y Seca (MST) total

T1, T3 y T4 presentaron la mayor masa fresca por planta. En el otro extremo, T2 presentó el valor más bajo. T5 no se diferenció de T3 y de T2 (Fig. 33). Las tendencias para la masa seca fueron las mismas, aunque las diferencias relativas entre T2 y el resto de los tratamientos fueron menores.

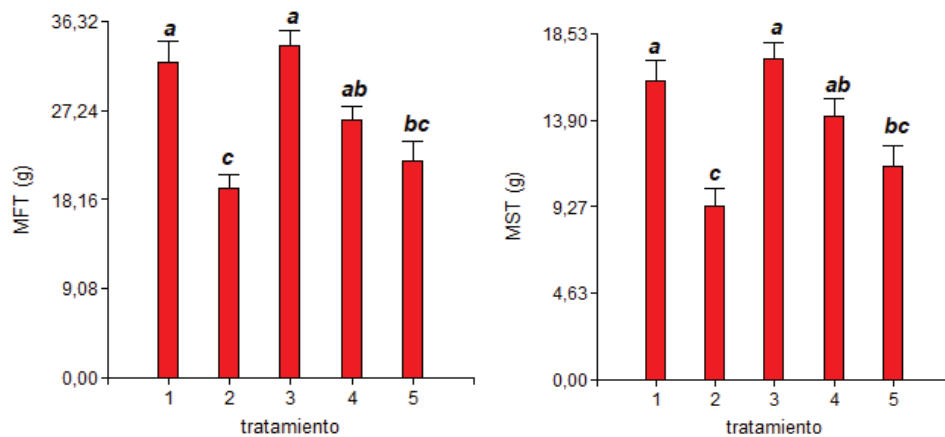


Figura 33- Masa Fresca (MFT; $g.pl^{-1}$) y seca (MST; $g.pl^{-1}$) total de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$).

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

4.4.6- Masa Fresca (MFR) y Seca (MSR) de raíz

La masa fresca de la raíz fue mayor en T3 (13,10 g), T1 (12,05 g), y T4 (10,30 g). El menor valor le correspondió a T2 (7,20 g). T5 no se diferenció de T2 y T4 (Fig. 34). En cuanto a la masa seca de la raíz la tendencia fue la misma.

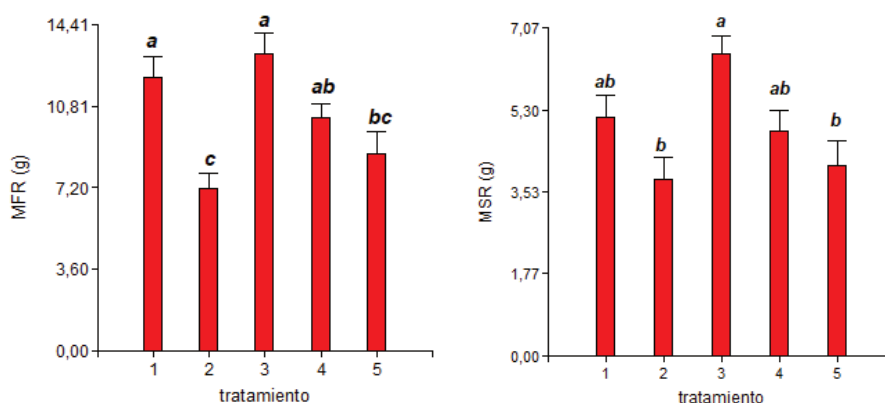


Figura 34- Masa fresca (MFR; g.pl^{-1}) y seca (MSR; g.pl^{-1}) de raíz de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): suelo+ cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25 + 75% v/v).

4.4.7- Masa Fresca (MFTa) y Seca (MSTa) de tallo

El mayor valor de masa fresca del tallo correspondió para T3 (9,4 g), T1 (5,00 g) y T4 (7,00 g). En el otro extremo, el menor valor fue para T2 (4,90 g), mientras que T5 (7,00 g) no se diferenció de T2 y T4 (Fig. 35). En cuanto a la masa seca del tallo las tendencias fueron similares.

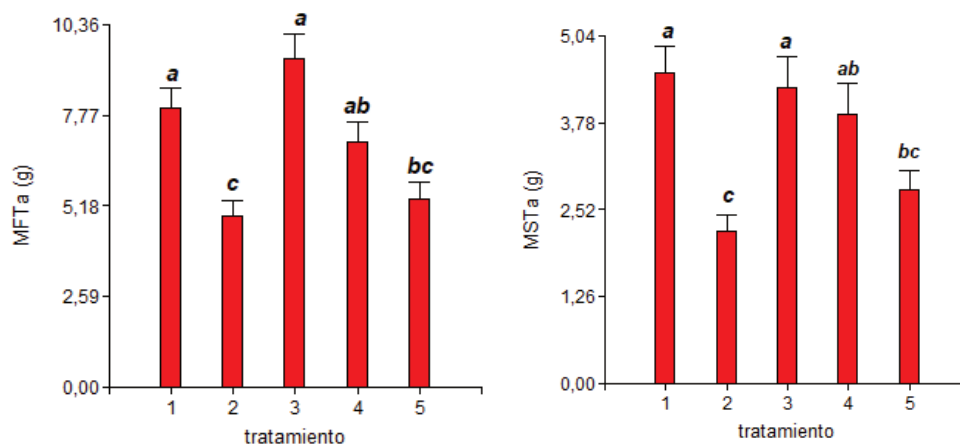


Figura 35- Masa fresca (MFTa; g.pl⁻¹) y seco (MSTa; g.pl⁻¹) de tallo de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

4.4.8- Masa fresca (MFH) y Seca (MSH) de Hoja

El mayor valor de masa fresca de la hoja correspondió a T3 (11,3 g), y a T1 (12,10 g). El menor valor fue para el T2 (7,20 g). T4 no se diferenció de los dos grupos (Fig. 36). En cuanto a masa seca de hoja la tendencia fue igual.

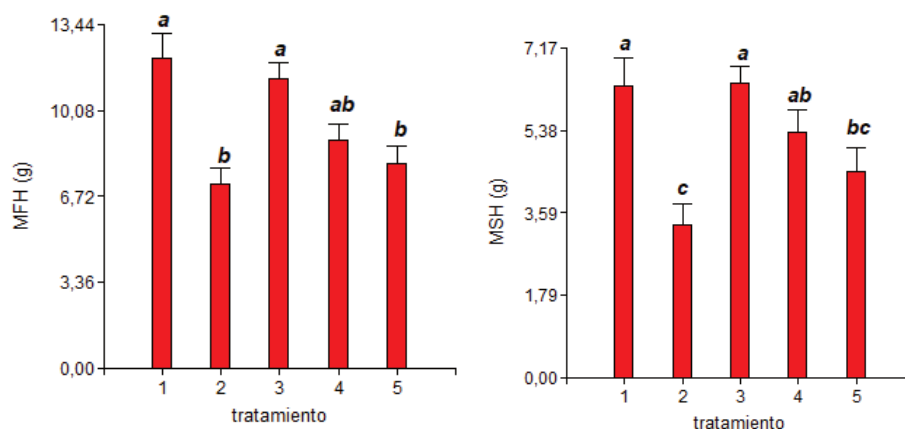


Figura 36- Masa fresca (MFH; g.pl⁻¹) y seco de hojas (MSH; g.pl⁻¹) de los diferentes tratamientos de mezclas de sustratos.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control): Sustrato comercial growmix, T2 (control): suelo + cascarilla de arroz (80 + 20% v/v), T3: aserrín + cascarilla de arroz (75 + 25% v/v), T4: aserrín + cascarilla de arroz (50 + 50% v/v), T5: aserrín + cascarilla de arroz (25+ 75% v/v).

4.4.9- Área foliar

El mayor valor de área foliar correspondió a T3 ($1.127,73 \text{ cm}^2 \cdot \text{pl}^{-1}$) y a T1. El menor valor fue observado en el tratamiento T2 ($438 \text{ cm}^2 \cdot \text{pl}^{-1}$). T4 y T5 presentaron valores intermedios (Tabla 24).

Tabla 24- Evaluación del área foliar por planta de los diferentes tratamientos.
Análisis de Varianza y Test de media de Tukey $\alpha=0,05$

Tratamiento	Área foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{pl}^{-1}$)
T1	913,38 ab
T2	438,21 d
T3	1.127,73 a
T4	781,26 b c
T5	676,79 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes test de Tukey ($p > 0,05$)

T1 (control) Sustrato comercial growmix, T2 (control) Suelo + cascarilla de arroz 80 + 20 % v/v, T3 aserrín + cascarilla de arroz 75 + 25 % v/v, T4 aserrín + cascarilla de arroz 50 + 50 % v/v, T5 aserrín + cascarilla de arroz 25 + 75 % v/v

Analizando las variables de crecimiento y desarrollo de las plantas se observó que T3 (sustrato a base de aserrín de eucalipto 75% y 25% decascarilla de arroz; v/v) permitió alcanzar los mejores parámetros al finalizar el ensayo a los 129 días post-trasplante. En ese momento alcanzó una altura de 69,80 cm, un diámetro de tallo de 4,16 mm; 23 hojas por planta, y un mayor peso fresco y peso seco por planta y por órgano. A pesar de ello, la mayoría de estos parámetros no se diferenciaron de T1 y T4; y en algunos casos incluso con T5, por lo que estos últimos no se deberían descartar para su utilización.

Los buenos resultados se pueden atribuir a las condiciones físicas del sustrato, como una alta porosidad total (91,33%), adecuada proporción de poros de aire (50,33%), y buena capacidad de retención de humedad (41,33%); es decir una buena distribución de tamaño de las partículas en un rango entre 0,50 y 4,00 mm que asegura estas adecuadas propiedades físicas (Cabrera, 2003; Ballester Olmos, 1993). Además, estos resultados se dieron a pesar de que el potencial hidrogeno (pH) fue bajo y fuera del rango óptimo de 5,50 a 6,30 donde están la mayor cantidad de elementos disponibles (Handreck y Black, 2002); y de una conductividad eléctrica alta ($3,69 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$) en relación al valor recomendado ($< 1,80 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$) (Ansorena Miner, 1994).

Por otro lado, el índice de germinación de T3 indica presencia de sustancias fitotóxicas en los extractos de 25% y 50% de dilución. La presencia de estas sustancias podría eliminarse en mayor proporción a través de un buen compostaje que en este trabajo no se hizo, lo que pone en dudas el actual proceso de estacionado de los materiales componentes de sustrato. Por otro lado, es probable que el compostaje permita obtener resultados más adecuados para las mezclas T4 y T5. Tanto la cascarilla de arroz como el aserrín fueron almacenados bajo condiciones no controladas de humedad por lo que la degradación de las sustancias fitotóxicas pudo haberse interrumpido o directamente pudo no haber ocurrido. López Clemente *et al.* (2015) obtuvieron resultados similares en el extracto de compost de cascara de naranja con un índice de germinación del 25%, alta presencia de sustancia fitotóxicas debido a un mal compostado con un índice granulométrico alto, lo que implica una mayor aireación y una menor retención de humedad.

Es importante resaltar que los parámetros obtenidos en T3 (aserrín + cascarilla de arroz; 75 + 25 % v/v) fueron similares a los de un excelente sustrato comercial (T1). Por otro lado, los valores son muy contrastantes a los obtenidos con T2, mezcla más difundida entre los viveros en la actualidad. Por lo tanto, se podría remplazar el uso de tierra y sustratos comerciales, o disminuir su volumen utilizado en las mezclas, por materiales regionales. Los componentes seleccionados cumplieron con la función para lo cual fueron pensados inicialmente, y que coinciden con lo expresado por Resh (1997), quien menciona que la cascarilla de arroz podría garantizar una buena aireación y drenaje, mientras que el aserrín mejorar la retención de humedad (Córdova, 2008).

Ceccagno *et al.* (2019), en ensayos con el portainjerto *Poncirus trifoliata* [L.] Raf., obtuvo buenos resultados en la producción de plantas utilizando corteza de eucalipto y acículas de pino molidas y compostadas (75-25 % v/v, respectivamente), obteniendo mayor altura de planta y diámetro de tallo, y mayor peso seco de tallo por planta. En esta tesis la mayor acumulación de peso seco se dio en las hojas, lo cual constituye una diferencia entre ambos experimentos, y que puede ser atribuida al menor tamaño de sus hojas o el efecto caducifolio de los trifolios (Fochesato *et al.*, 2007).

En otros trabajos sobre sustratos en portainjertos de citrus, Romano y Aramayo (1995)

utilizaron mandarina Cleopatra (*Citrus resnhi*), y analizaron sustratos como tierra de monte, perlita, arena y turba en distintas proporciones, y observaron que la mezcla de arena más turba (50 - 50% v/v) permitió alcanzar el mayor crecimiento en diámetro y altura de planta al finalizar el ensayo, en la semana 24 (seis meses), mientras que en la mezcla de arena más tierra de monte (50 - 50% v/v) se demoró un mes más en alcanzar el diámetro para injerto. Este mayor tiempo en relación a la Lima Rangpur puede ser atribuido al lento crecimiento inicial del portainjerto mandarina Cleopatra (*Citrus resnhi*). En nuestra experiencia, el tratamiento más desfavorable (T2) alcanzó el diámetro de injerto a la semana 16. Si los viveristas prefieren continuar utilizando el suelo como componente de los sustratos se podría evaluar reduciendo su volumen a valores mínimos. (Barbaro *et al.* 2014) en plantas florales utilizó 6 partes de pinocha 3 parte de turba subtropical 1 parte de suelo no teniendo buenos resultados, lo cual no aconseja su uso Quilumba (2016), en ensayos de plantas de cacao en diferentes mezclas de sustratos en una relación (75 - 25% v/v, tierra negra y cascara de arroz) observó resultados similares al T2 de esta tesis, donde obtuvo los menores valores en las variables altura, diámetro de tallo y número de hojas, lo cual refuerza la necesidad de reducir la proporción del suelo en contenedores para la producción de plantas. En el mismo sentido, Avrella *et al.* (2021) en ensayos con suelo en diferentes volúmenes con turba y polvo de coco encontraron no recomendable la utilización de suelo como sustrato ya que todas las características tanto físicas como químicas fueron desfavorables para el crecimiento de las plantas. Shafer (2006), evaluando diferentes portainjertos como *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.; Citrange “C13” - *P. trifoliata* x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck; Citrange “C37” - *P. trifoliata* x *C. sinensis* (L.) Osbeck, y limón “Cravo” - *C. limonia* Osbeck, en 2 mezclas comerciales de sustratos y una tercera mezcla de turba y cascara de arroz carbonizada 1:1 v/v; observaron que los mayores valores de altura y diámetro de planta a los 120 días desde la siembra fueron para el portainjerto trifolio y “C37” en el sustrato comercial a base de turba y perlita, y en la mezcla de cáscara de arroz carbonizada más turba 1:1 v/v. por lo que al igual que en esta tesis, aquellos sustratos que tienen un componente de buena capacidad de retención de agua, como se caracteriza la turba y el aserrín en este tesis, permitiría un buen desarrollo y crecimiento de la planta.

Romano y Aramayo (1995) en busca de diferentes alternativas de sustratos para plantas cítricas, realizaron ensayos con el portainjerto mandarina Cleopatra (*Citrus resnhi* Hort. ex tan) con materiales como turbas, perlitas, suelo de monte y arena, buscando remplazar el suelo

de monte, y encontraron que la mezcla de arena y turba 1:1 (%v/v) les daba un portainjerto adecuado con diámetro de injerto a las 26 semanas (6 meses) de trasplante; en este trabajo con lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) y la mezcla T3 se pudo alcanzar el tamaño para injerto a las 16 semanas (4 meses).

5- CONCLUSIONES FINALES

- Considerando la hipótesis planteada se podría decir que los residuos de las industrias regionales, como cascarilla de arroz y aserrín de *Eucalyptus sp.* estacionado, obtuvieron resultados satisfactorios como componentes de sustrato en la producción de plantas de portainjerto de lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck), y pueden ser recomendados para su utilización en viveros cítricos en la zona de Bella Vista, Corrientes.
- La mezcla más utilizada hasta el momento por los viveristas (80% suelo - 20% cascarilla de arroz) mostró los peores parámetros de crecimiento de las plantas, por lo que debería ser reemplazado a la brevedad.
- Las proporciones utilizadas en T3 (75% de aserrín - 25% de cascarilla de arroz), permitió alcanzar resultados similares a un sustrato comercial (T1) de alta calidad.
- En cuanto a las propiedades químicas, las mezclas evaluadas presentaron valores de pH bajo y de conductividad eléctrica elevado, respecto de lo recomendado como ideal para sustratos.
- En la determinación de las características biológicas se detectó la presencia de sustancias fitotóxicas con un efecto cuantitativo pudiendo ser relacionado a la conductividad eléctrica elevada o a otras sustancias. El tratamiento de mayor índice de germinación correspondió a T3 (75% de aserrín - 25% de cascarilla de arroz).
- El estacionado de los componentes de la mezcla no mostró ser un proceso efectivo en la eliminación de las sustancias fitotóxicas medido a través del índice de germinación, por lo que los materiales deberían ser compostados previo a su utilización.
- Las mezclas T4 y T5 no mostraron buenos resultados de crecimientos de planta, pero no deberían ser descartados sino evaluados bajo condiciones de compostaje.
- Se evidenció que el crecimiento de los plantines de citrus fue favorecido en aquellos sustratos que tuvieron una buena capacidad de retención de humedad.

6- BIBLIOGRAFÍA

Abad, M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *En*: L. Rallo y F. Nuez (Eds.). La Horticultura Española en la C.E. pp. 270-280. Ediciones de Horticultura S.L., Reus (Tarragona). España.

Abad, M., Martínez, G. P. F. y Martínez, H. M. D. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.

Abad, M.; Noguera, P. y Carrión, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *En*: M. Urrestarazu (Ed.). Tratado de cultivo sin suelo. pp. 113-158. Editorial Mundi prensa. España.

Abad, M., Noguera, P. y Burés, S. 2001. National inventory of organicwastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.

Abdi, H. y Williams, L. J. 2010. Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: Computational Statistics* 2(4): 433-459.

Acosta-Durán, C. M., Gallardo, C. S., Kämpf, A. N. y Carballo Bezerra, F. 2008. Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. *Investigación Agropecuaria* 5: 93-106.

ACPA. Asociación Correntina de Plantadores de Arroz. 2016. Bolsa deCereales de Entre Ríos. Relevamiento Arrocerero Nacional. Relevamiento decampaña 2015/2016: Fin de cosecha. Disponible en: <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Paginas/INFORME-2015-16.pdf>

Agostini, J. P., Neuendorf, D., Redes, J. y Figueredo, I. 2016. First detection of HLB in commercial Nova tangerines in Misiones, Argentina. *International Citrus Congress*. Foz de Iguazú, Brasil. Resumen (S 6-290).

Agusti, M. 2000. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa. España. 416 p.

Ahumada, V., Espinoza, C., Schiappacasse, F. y Carrasco, G. 2007. Producción de crisantemo en maceta para floración en diciembre con uso de diferentes sustratos. *Agro Sur* 35 (2): 31-32.

Alcántar González, G. y Sandoval Vila, M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación especial 10. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo, A. C. Chapingo, México. 155 p.

Alorda, M. 2002. Estudio de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales en el nordeste de Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER. Universidad Nacional de Entre Ríos.

Anderson, C. M. 1996. Los cítricos. *En: Manual para productores de naranja y mandarina de la región del río Uruguay. Diversificación productiva Manual serie "A" N° 2* Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria (INTA). 126 p.

Andrade S., G. 2008. Resíduos regionais usados como sustratos na região sul da Bahia. Anais do VI Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas (ENSub). Materiais regionais como substrato. 9 a 12 de setembro de 2008, Fortaleza, CE.

Ansorena Miner, J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 172 p.

Araújo A.P., Sobrinho, S.P. 2011. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes sustratos. *Revista Árvore*, 35(3), 581-588.

Avrella, E.D., Paim, L.P., Tedesco, M., Emer, A.A., Schafer, G., de Souza, P.V., y Fior, C.S. 2021. Suelo mineral como componente de sustrato para plantas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12 (2), 85 – 98

Ballester-Olmos, J. F. 1993. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales (pp. 44- p). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras Agrarias

Barbaro, L. A. 2011. Desarrollo de sustratos sin suelo para cultivo en macetas de plantas florales. Tesis Final de Graduación para optar al título de Magíster en Cultivos Intensivos de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/288/tesis.pdf>.

- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A. y Morisigue, D. E. 2008. Caracterización química de resacas de río utilizadas para la formulación de sustratos. VI Encontro Nacional sobre sustratos para plantas materiais regionais como sustratos. 9 a 12 de setembro de 2008 - Fortaleza - CE - Realização: Embrapa Agroindustria Tropical, SEBRAE/CE e UF C.

Barbaro, L. A., Karlanian M. A., Imhoff S., y Morisigue D.E. 2011. Caracterización de la turba subtropical del departamento Islas del Ibicuy (Entre Ríos, Argentina). Agriscientia 28(2): 137-145.

Barbaro, L. A., Imhoff, S. D. C., y Morisigue, D. E. 2014. Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. Ciencia del suelo 32 (2): 149 - 158 p.

Baumgarten, A. 2008. Analytical Methods for Growing Media– Challenges and Perspectives. Acta Hort. 779, 97-104.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.10>

Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. y Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. Bioresource Technology 100: 5444-5453.

Beraldo, A.L. y Zucco L.L. 2007. Evaluación de la velocidad del pulso ultrasónico (VPU) en mezclas de cemento Pórtland, ceniza y cáscara de arroz. IV Conferencia Panamericana de END (ensayos no destructivos). Buenos Aires

Bernardi, A. C. de C. 1999. Produção em vasos de mudas de cítrus em resposta à

adubação NPK em ambiente protegido. 108f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo”, Piracicaba.

Boaventura, P. S. 2003. Demanda por nutrientes de porta-enxertos e mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido [Nutrient demand for Citrus nurseries grown in substrate in protected environment]. Master's thesis, Instituto Agronômico de Campinas.

Boaventura, P. R. R., Quaggio, J. A., Abreu, M. F. y Bataglia, O. C. 2004. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP 26(2): 300-305.

Boyouni, Y., Mahrouk, M., Aidy, F. y Pap, Z. 2008. Using compost of grape manufacture and farm wastes as growing media in vegetable and ornamental nurseries. International Journal of Horticultural Science 14(3): 45–50.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 342 p. Bunt, A. C., 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd., Great Britain. 309 p.

Bunt, A. C., 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd., Great Britain. 309 p.

Calderón, F. 2002. Cascarilla de arroz caolinizada. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm.

Cabrera, R. I. 1996. Monitoring and management of soluble salts in ornamental plant production. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No.848. 4 p.

Cabrera, R. I. 2003. Fundamentals of Container media management, part 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. FS812. Fact sheet. 4pp.

Calderon, F. 1989. El cultivo hidropónico-manual práctico. Bogotá, Col., COLJAP. p 34 — 40.

Carcaño, F. A. y Beltrán, V. M. 2012. Comportamiento del portainjerto Lima Rangpur (*Citrus limonia* Osbeck) en cinco sustratos diferentes. XXXV Congreso Argentino de Horticultura ASAHO. Libro de resúmenes, Sección fruticultura. FRTC22, p 341.

Castle, W. S. y Rouse, R. E. 1990. Total mineral nutrient content of Floridacitrus nursery plant. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 103:42-44.

Ceccagno, H., Dutra de Souza, P. V., Schafer, G., Avrella, E., Demari, F., Claudimar, S. y Schwarz, S. F. 2019. Potential of Pinus sp. needles for use as substrate conditioners in the production of 'Trifoliata' rootstock in greenhouses. Revista Chapingo. Serie horticultura 25(1): 5-16. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019039>

Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSC)-CEBAS, Murcia, España. 181 p.

Córdova, T. 2008. Características de medios de crecimientos compuestos por corteza de pino y aserrín. Recuperado de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=propiedades%20de%20aserrin%20como%20sustrato%20&>

Cunha, A. R.; Katz, I.; Souza, A. de P. y Martinez uribe, R. A., 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia* [online]., vol.33, n.2 [citado 2021-11-11], pp.97-105

Daorden, M. E., Garcia, L. M.; Paggi, Y. y González, J. 2012. Crecimiento de plantines de limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush) en diferentes sustratos. Libro de resúmenes del XXXV Congreso Argentino de Horticultura, Sección fruticultura. FRTC22 p 321.

De Boodt, M., Verdonck, O. y Cappaert, J. 1974. Methods for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae 37: 2054-2062.

De Campos Bernardi, A. C., Carmello, Q. A. De C., y Carvalho, S. A. 2014.

Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. *Scientia Agricola*, 57(4), 733-738. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000400022>.

Dibbern Graf, C. 2009. Rol de los viveros cítricos en la estrategia para el manejo de HLB. Disponible en: <http://www.calcitrusquality.org/wp-content/uploads/2009/05/Cesar-Graft-Rol-de-los-Viverosen-la-estrategia-contra-HLB.pdf>.

Demidenko, E. (2013). Mixed models: theory and applications with R. John Wiley & Sons.

Di Benedetto, A., Boschi, C., Klasman, R. y Molinari, J. 2003. El crecimiento de cuatro plantas ornamentales anuales en diferentes sustratos. *Revista Brasileira Horticultura Ornamental* 9 (2): 171-177.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. 2019. InfoStat versión 2019. Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>

Drzal, M. S. y Fonteno W. C. 1999. Pore fraction analysis: a new tool for substrate testing. *Acta Horticulturae* 481:43-54.

Drigo, R., Anchau, A., Carvalho, S. y Flores Marco, N. 2009. Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina. *Wisdom - Argentina- FAO*. Departamento Forestal Dendroenergía.

Dutra Degli Esposti, M., Lopes de Siqueira, D., Gomes Pereira, P. R., Alvarez Venegas, V. H., Chamhum Salomão, L. C. y Machado Filho, J. A. 2011. Assessment of Nitrogenized Nutrition of Citrus Rootstocks Using Chlorophyll Concentrations in the Leaf. *Journal of Plant Nutrition* 26: 6, 1287- 1299, DOI: [10.1081 / PLN-120020371](https://doi.org/10.1081/PLN-120020371)

Epstein, E. 1997. The science of composting. Florida: crc Press LLC. 504 p.

Elizondo, M. H., Mestres, M. J., Sens Hourcade, J. E., Álvarez, A. M., Moreno, J. C. y Wabo, E. 2015. Actualización del inventario de plantaciones forestales de la provincia de Corrientes. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Provincia de Corrientes. 97 p.

Estévez, S. I., Seoane, S., Nuñez, A. y López, M. M. 2009. Characterization and evaluation of compost utilized as ornamental plant substrate. *Compost Sci. Util.* 7:210-219.

Federcitrus. 2018. La actividad citrícola Argentina 2017. Federación Argentina del Citrus. Buenos Aires. Disponible en: <https://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2018/05/Actividad-Citricola-2018.pdf>

Fermino, M. H. 2003. Métodos de análisis para caracterización física de sustratos para plantas. Tesis de doctorado. Universidad Federal de Rio Grande Do Sul. Facultad de Agronomía. Puerto Alegre. 250 p.

Fernandes, C. y Corá, J. C. 2004. Bulck density and relationship air/water on horticultural substrate. *Sci. Agric.* 61(4): 446-450.

Farnham, D. S., Hasek, R. F., Paul, J. L. 1985. Water quality; Its effects on ornamental plants. Cooperative Extension Leaflet No. 2995. University of California, USA. 15 p.

Fochesato, M. L., Souza, P. V. D. D., Schäfer, G., y Maciel, H. S. 2007. Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em sustratos comerciais. *Ciência Rural*, 37, 970-975.

Garibay, S. L. C., Aldrete, A., Upton, J. L. y Chaparro, V. M. O. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques* 25 (2): e2521520.

Gariglio, N. F., Buyatti, M. A., Pilatti, R. A., Gonzalez Russia D. E y Acosta M. R. 2002. Use of a germination bioassay to test compost maturity of willow (*Salix* sp.) sawdust, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 30:2:135-139. DOI: 10.1080/01140671.2002.9514208

Gallardo, C. S., Valenzuela, O. R. y Routhier, M. C. 2006. Cultivo de mirtáceas nativas de Entre Ríos en sustratos regionales: resultados preliminares. *Acta III Congreso Argentino de Floricultura*. p 244-247.

Gruda, N., Sippel, Ch. y Schritzler, W. 2000. Investigation of physical properties of wood fiber substrates under press pot conditions. *Acta Horticulturae* 554:51-52.

Guimaraes, T. G., Fontes, P. C. R., Pereira, P. R. G., Alvarez, V. y Monnerat, P. H. 1999. Teores de clorofila determinados por medidor portatil e sua relacao com formas de nitrogenio em folhas de tomateiro em dois tipos de solo. *Bragantia* 58: 209–216.

Heiskanen, J. 1993. Water potential and hydraulic conductivity of peat growth media in containers during drying. *Silva Fennica* 27:1-7.

Heiskanen, J. 1994. Mechanical container filling alters texture and water retention of peat growth media. *Horttechnology* 4(3):286-288.

Hidalgo Loggiodice, P. R., Sindoni Vielma, M. y Méndez Natera, J. R. 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *UDO Agrícola* 9:282-288.

Hillel, D. 1980. *Fundamental of Soil Physics*. Academic Press. New York. 413 p.

Insausti, J. 1993. El sustrato ideal. *Flor, Cultivo y Comercio* 6(2):15-16.

Jiménez, R. y Caballero, M. 1990. *El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta*. Ediciones de Horticultura. Reus, España. 653 p.

Kämpf, N. A. 2005. *Producao comercial de plantas ornamentais*. Agro livros. 254 p.

Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E. y Barnett, J. P. 1990. Containers and growing media. Vol. 2. *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbook 674. USDA. Forest Service. Washington, DC. EUA. 88 p.

León, A. P., Viña, S. Z., Frezza, D., Chaves, A. y Chiesa, A. 2007. Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38(19-20):2877-2885.

Leconte, M. C. 2010. Efecto del agregado de estiércol de gallina en el compostaje de aserrín y cascarilla de arroz. Universidad Nacional del Nordeste Área de Recursos Naturales Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo Suelos. Universidad Nacional del Comahue. Corrientes.

Lenth, Russell V. (2021). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.7.2. (<https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/vignettes/interactions.html#covariates>)

Ligier, H., Perucca, A., Kurtz, D., Matteio, H. y Vallejos, O. 2002. Relevamiento cítrico en el departamento de Monte Caseros, Corrientes. EEA INTA Corrientes – Recursos Naturales. Corrientes. 32 p.

Ligier, H., Perucca, A., Kurtz, D., Matteio, H. y Vallejos, O. 2004. Relevamiento cítrico en el departamento de Bella Vista, Corrientes. EEA INTA Corrientes – Recursos Naturales. Corrientes. 31 p.

Ligier, H., Perucca, A., Kurtz, D. y Mattio, H. 2005. Relevamiento cítrico en 14 departamentos de la Provincia de Corrientes. EEA INTA Corrientes – Recursos Naturales. Corrientes. 42 p.

López-Clemente, X. A., Robles-Pérez, C., Velasco-V., Vicente, A., Ruiz- Luna, J., Del Valle, E. y Raymundo J. R. O. 2015. Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados *Ciencia Ergo Sum.* 22(2):145-152.

López, L. N., y López, F. A. 2012. Uso de un sustrato alternativo a la turba para la producción viverística de plantas hortícolas y aromáticas. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. *Recursos Rurais* 8:31-37.

Ludwig, F., Guerrero, A.C., Fernandes, D.M., Villas Boas, R.L. 2010. Análise de crescimento de gerbera de vaso conduzida em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*, 28(1), 70-74

Mattos JR., D.; Ramos, U. M.; Quaggio, J. A.; Furlani, P. R. 2010 Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. *Bragantia*, Campinas, v. 69,

n. 1, p. 135-147,

Marfà, O., Cáceres, R., Gschwander, S., Guiffrida, F., Lemaire, F., Guérin, V., Rivière, L. y Stievenard, S. 1999. Consequences de la biodegradabilitat dela materia orgànica en les propietatts físiques i químiques dels substrats. *Quaderns Agraris* 24:5-19.

Martínez, P. F. y Roca, D. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. *En: Flórez, V. J. (Ed.). Sustratos, manejo delclima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 37-77.*

Martínez-López, Y., Fernández-Concepción, R. R., Álvarez-Lazo, D., García-González, M. y Rodríguez-Álvarez, R. 2012. Perspectivas para la utilización del aserrín en la producción de tableros de madera de plástico con propiedades ignífugas. *Revista Avances* 14 (2):120-129.

Martínez, P y Ojeda, N. 2012. Protocolo de Viveros Cítricos bajo cobertura plástica. Ministerio de producción de Corrientes. CFI (Consejo Federal de Inversiones) INASE (Instituto de sanidad de semillas). SENASA (Servicio de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1^{ra}. ed. Corrientes.

Massey, F. P., Ennos, A. R. y Hartley S. E. 2007. Grasses and the resource availability hypothesis: the importance of silica-based defenses. *Journal of Ecology* 95:414-424.

Méndez Natera, J. R.; Moreno M. J. y Moya J. F. 2009. Efecto de diferentes combinaciones de sustratos (arena, suelo y/o bagazo de caña de azúcar) sobre la germinación de semillas y altura de plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista UDO Agrícola* 9 (1): 121-125. 2009

Michelot, P. 1999. Relations substrat - irrigation. *In: P. Michelot y C. Chambolle (Eds.). Irrigation en pépinière hors sol. pp. 19-27.*

Michel Jr., F. C. y Reddy C. A. 1998. Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench-scale reactors. *Compost Science y Utilization* 6:6-14.

Molina, N. A. 2007. La Citricultura Correntina: Diagnostico Actual, Empleo e Inserción internacional. INTA Bella Vista. Publicación Técnica N° 19.

Molina, N. A. 2009. Los empaques cítricos de Corrientes. Proceso, empleo y distribución. Publicaciones EEA Bella Vista, Serie Técnica N° 34.

Molina, N., Canteros, B., Ramírez, A., Beltrán, V. y Gochez, A. 2018. Informe de la Citricultura Correntina 2017. INTA Bella Vista Centro Regional Corrientes Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista. Hoja de divulgación N° 51.

Nelson, P. V. 1991. *Greenhouse Operation and Management*. 4th Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 611 p.

Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., y Noguera, V. 2004. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:593-605.

Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R. y Ocampo- Mendoza, J. 2010. Efecto de diferentes sustratos sobre el crecimiento de las plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Ra Ximhai* 6(3):365-372.

Oviedo, M. B. S. 2011. Alternativas de compostaje de aserrín de pinocaribe (*Pinus caribaea*) en la industria maderera Refocosta S.A., Municipio de Villanueva, Casanare, Colombia. *Revista de investigación Agraria y Ambiental* 2(2):21-32.

Picken, P., Reinikainen, O., y Herranen, M. 2008. Horticultural peat raw material and its chemical and physico-chemical characteristics in Western Finland and Western Estonia. *Acta Hort.* (ISHS) 779:415-422. http://www.actahort.org/bo oks/779/779_52.htm (accessed 10 aug. 2009).

Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team. 2021. *nlme: Linear and*

Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-153, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.

Pinheiro, J., y Bates, D. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer Science & Business Media.

Poole, R., Conover, C. y Joiner, J. 1981. Soil and potting mixture In: *Foliage Plant Production*. Joiner J. N. (ed.). Prentice Hall, Virginia. New Jersey. pp. 179-202.

Quintero, M. F., Ortega, D., Valenzuela, J. L. y Guzmán, J. M. 2012. Variation of hydro-physical properties of burnt rice husk used for carnation crops: improvement of fertigation criteria. *Sci. Hortic.* 154:82-87.

Quintero, M. F., González, C. A. y Guzman, J. M. 2014. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. In: Flórez, V. J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 79-108.

Quilumba, C. L. D. 2016. Evaluación de diferentes tipos de sustratos en viveros de cacao (*Theobroma cacao*). Proyecto de investigación. Universidad técnica estatal de Quevedo Ecuador. Facultad de ciencias agrarias carrera de ingeniería agronómica.

Raviv, M., Lieth, J. H., Burger, D. W. y Wallach, R. 2001. Optimization of transpiration and potential growth rates of “Kardinal” rose with respect to root-zone physical properties. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126(5):638-643.

Raviv, M. 2011. El futuro de los compost como ingredientes de los medios de cultivo. *Acta Horticulturae ISHS* 891:19-32.

Raviv, M. y Leith, J. H. 2008. *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier. 587 p.

R Core Team 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Reyes J. R., Pimienta de la Torre, D. J., Morales J. A. R., Fuentes Pérez, M. A. y Figueroa, E. P. 2018. Calidad de planta de *Gmelina arborea* Roxb. Producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47). p 111-130. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.163>

Resh, H. 1997. Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. Editorial Mundi prensa. Madrid-España. 559 p.

Rynk, R., van der Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. J., Gouin, F. R., Laliberty, L., Kay Jr., D., Murphy, D. W., Hoitink, H.A. y Brinton, W.F. 1992. On-farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service. Ithaca, N.Y. USA.

Romano. A. S. y Aramayo, D. R. 1995. Substratum and optimum irrigation frequency for Cleopatra mandarin (*Citrus reshni* Hort. Ex Tan.) rootstocks growth. Agriscientia XII:93-99.

Rodríguez, D. S. 2012. Protocolo de viveros cítricos bajo cobertura plástica (resol. 930/09) Origen y Desarrollo de los Citrus en Bella Vista, Corrientes. 1a ed. Ediciones INTA.

Sandoval Lemus, A. R. L. 2007. Análisis de mercado para el uso de la cascarilla de arroz en la producción de plantas ornamentales florecedoras en Puerto Rico. Tesis Maestro en Ciencias en Economía Agrícola. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Sandoval Rincón, J. 2011. Producción de Planta Certificada en Vivero. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur — Sureste de México: Tropical Húmedo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Disponible en: www.inifap.gob.mx/Documents/inicio/paquetes/citricos.pdf.

Sanchez-Cordova, T., Alderete, A., Cetina-Alcala V. M. y López-upyon, J. 2008. Growth media characterization based on pine bark and sawdust. Maderay Bosques 14(2):41-49.

Searle, S. R., Casella, G., y McCulloch, C. E. 2009. Variance components (Vol. 391). John Wiley & Sons.

Schäfer, G. 2004. Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul. Tesis (Doctorado en Fitotecnia) - Facultad de Agronomía,

Universidad Federal- Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 129 p.

Schafer, G., Dutra-de Souza, P. V., Koller, O. C. y Schwarz, S. F. 2006. Desenvolvimento vegetativo inicial de porta enxertos cítricos cultivados em diferentes substratos. *Ciência Rural*, 36(6):1723-1729. Doi: 10.1590/S0103- 84782006000600009.

Schafer, G., Souza, P.V.D., Fior, C.S. (2015). Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. *Ornamental Horticulture*, 21(3), 299-306. <https://doi.org/10.14295/oh.v21i3.735>

SENASA. 2013a. Ley Nacional 26888-2013-Honorable Congreso de la Nación. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/ley-nacional-26888-2013-honorable-congreso-de-la-nacion>.

SENASA. 2013b. Normativa general y específica de viveros. Normativa para cultivos específicos. Cítricos. Disposición 4/2013. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-vegetal/aromaticas/produccion-primaria/establecimiento-productivo/material-de-propagacion/normativa-general-y-especifica-de-viveros>.

Souza, P. V. de S. y Schäfer, G. 2006. Produção de mudas de laranjeiras. *En*: O. C. Koller (Ed.) Citricultura: 1. Laranja: tecnologia de produção, pós - colheita, industrialização e comercialização. pp. 55-87.

Spomer, L. 1980. Prediction and control of porosity and water retention in sand-soil mixtures for drained turf sites. *Agron. J.* 72:361-362.

Strasburger, E., Noll, F., Schenk, H., Schimper, A. F. W., Von Denffer, D., Ehrendofer, F., Bresinsky, A. y Ziegler, H. 1986. Tratado de Botánica. 7ª ed. Editorial Marín S.A., Barcelona.

Stratton, M. L., Barker, A. V. y Rechcigl, J. E. 1995. Compost. In: Soil Amendments. CRC. Press, Inc. p. 249-287

Titko, S., Jessop, L. W., Seymour, R. D., Baker, J. D., Blaylock, C. K. y Roussel, L. J. 1996. Mixing ratios in biosolids composting. *Biocycle* 37:66-68.

Uasuf, A. y Hilbert, J. 2012. El uso de la biomasa de origen forestal con destino a bioenergía en la Argentina. Informes técnicos Bioenergía. Ediciones INTA Castelar. Buenos Aires. Argentina.

Valenzuela, O. R. y Gallardo, C. S. 2003. Los Sustratos: un insumo clave en los sistemas de producción de plantines. *IDIA XXI, Horticultura y Floricultura* 4:25-29.

Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S., Rode, M. I. 2004. Caracterización de algunos materiales clásicos utilizados en la formulación de sustratos. Acta II Congreso Argentino de Floricultura y Plantas ornamentales. P. 200-202.

Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S. y Kämpf, A. N. 2005. Regional components used as growing media in Argentina. *Proceeding International Symposium on Growing media. ISHS Acta de Horticultura* p5.

Valenzuela, O. R. 2006. Los sustratos como medio de crecimiento para los cultivos sin suelo. Seminario taller de sustratos para plantas en contenedores. Ciudad de Corrientes. Corrientes. 7p

Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S., Carponi, M. S., Aranguren, M., Tabares, H. y Barrera, M. C. 2014. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Ciencia, docencia, tecnología suplemento* 4:1-19.

Varnero, M., Rojas, A. y Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 7:28-37.

Vinciguerra, H. F. y Foguet, J. L. 1983. Ensayo de sustratos para el cultivo de plantines cítricos en macetas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 60(2):53-61.

Wang, Ch., Lin, Y., Huang, W. y Chiu, L. 2005. Raw Materials Used for Composting.

In: Chen, Z. y Bejosano-Gloria, C. (Eds). Compost Production: A Manual for Asian Farmers. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Publication. Taipei, Taiwan. Cap 4, p. 20-30.

Wathier, M., Schwengber, J.E., Fonseca, F.D., Silva, M.A.S. (2019). Húmus de minhoca e cascade arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. *Brazilian Applied Science Review*, 3(5), 2065-2071. <https://doi.org/10.34115/basrv3n5-011>

Yahya, A., Anieza, S. S., Mohamad, R. B. y Ahmad, S. 2010. GrowthDynamics of *Celosia cristata* Grown in Cocopeat, Burnt Rice Hull and Kenaf Core Fiber mixtures. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5(1):70-76.

Zubrzycki, H., Diamante, A. y Boleso, J. 1983. Producción de plantas y yemas cítricas libres de Cancrosis. Informe Técnico N° 4. Serie: Mejoramiento Cítrico. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentación (SAGPyA), INTA EEA Bella Vista.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y De Bertoli, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* 22:54-57.

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., y Smith, G. M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R. New York: Springer.

7- ANEXOS

7.1- Anexo I

7.1.1- Densidad de sustrato y densidad aparente

Instrumental

Para la realización del ensayo se requiere de los equipos y el material de vidrio de uso habitual en el laboratorio, y en particular los siguientes:

- Estufa con capacidad para mantener una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Balanza, con una resolución de $\pm 0,001$ g.
- Probeta plástica transparente graduada de 250ml.
- Bandejas de aluminio u otro material resistente a altas temperaturas de un volumen adecuado para albergar hasta 250ml de muestra.
- Embudo plástico con pico ancho de tamaño adecuado a la boca de la probeta.
- Tela de alfombra de 10cmx10cm.

Preparación de la muestra de ensayo

- Preparar la muestra según lo especificado en el protocolo “Acondicionamiento de muestras para su caracterización en el laboratorio”.

Procedimiento para análisis

- Llenar la probeta con la muestra hasta 250ml mediante el embudo
- Levantar la probeta hasta 10cm desde la superficie de la tela de alfombra ubicada sobre mesa de trabajo y dejarla caer en forma libre, realizar este procedimiento 10 veces.
- Observar el nivel del sustrato alcanzado en la probeta y anotar el volumen (V).
- Pesar una bandeja (B1), tarar la bandeja, volcar la muestra y pesar (M1). Anotar el valor.
- Introducir la bandeja con la muestra húmeda en una estufa estabilizada a una temperatura de 105°C hasta peso constante.
- Retirar la bandeja con la muestra seca, pesar (M2), anotar el valor.

- Hacer el procedimiento descrito por triplicado.
- Calcular la densidad aparente húmeda y seca:

$$\text{Densidad aparente húmeda (Kg m-3): } \frac{M1 \times 1000}{V}$$

$$\text{Densidad aparente seca (Kg m-3): } \frac{(M2- B1) \times 1000}{V}$$

M1: Peso de la muestra húmeda

M2: Peso de la muestra seca

B1: Peso de la bandeja

V: Volumen del sustrato luego de dejar caer la probeta 10 veces.

7.1.2- Capacidad de retención de agua, Poros con aire y Retención de humedad:

Procedimiento

Pesar el equipo de cilindros vacío y registrar su valor en gramos (M0). (ver en Anexo el armado de los cilindros)

Colocar el collar de extensión (cilindro superior) y llenar cada equipo con la muestra, vertiéndola suave y homogéneamente en todo el volumen de los cilindros tratando de no dejar espacios vacíos (ej. como si se llenara maceta). Dar dos golpecitos al conjunto sobre la mesada como para asentar el material y asegurarse que no quedan espacios sin llenar, si es necesario completar con más material. Para materiales orgánicos que sufren disminución de volumen al saturarse, llenar el cilindro de modo que quede bien colmado. Limpiar todo resto de material que quede adherido en la parte externa del conjunto de cilindros.

Colocar cada equipo de cilindros sobre una rejilla en el interior de una batea plástica vacía y bien nivelada.



Cilindro inferior con la tela y suncho listo para pesar (Fuente Rilsav)



Cilindro inferior y superior (Fuente Rilsav). Llenado del equipo con sustrato (Fuente Rilsav)

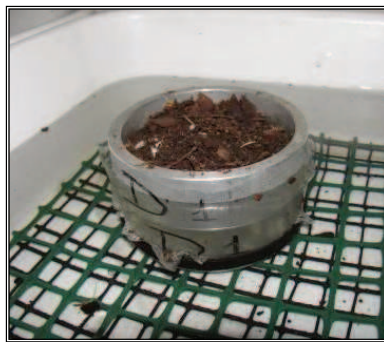
Una vez que se colocaron en la batea todos los cilindros se llena el baño con agua hasta 1 cm debajo del borde del cilindro superior permitiendo que el agua penetre lentamente de abajo hacia arriba por vasos comunicantes. El tiempo requerido para este llenado es de por lo menos 30 min. El último cm de sustrato se saturará por capilaridad. Si el material presentara partículas grandes con escasa capilaridad (ej. perlita gruesa) se puede aumentar el nivel del agua hasta $\frac{1}{2}$ cm del borde superior del cilindro. Si algún material tuviera tendencia a flotar se puede colocar un peso sobre el cilindro cuidando de no aumentar la densidad de la muestra.

Dejar en el baño por 24 horas reponiendo agua para mantener el nivel. En caso de materiales en los que la saturación es lenta (ej. turbas) dejar al menos 48 hs. Se retiran los cilindros muy lentamente del agua en forma vertical sin inclinar hasta que el fondo sale del nivel del agua, y se lo transfiere sobre una bandeja a los lechos de arena, donde se les aplica

una tensión de 10 hPa medida desde la base de los cilindros.



Bateas con la rejilla para saturar el sustrato



Sustrato puesto a saturar (Fuente Rilsav)

En el caso de que la arena de los lechos se encuentre seca, proceder a la saturación de los lechos de la siguiente manera: 24 hs antes de la colocación de los cilindros en los lechos, saturar los mismos. Se procede cerrando el drenaje y agregando agua hasta su saturación permitiendo la salida de aire en forma de burbujas dejando el lecho con una película de 1 cm de agua sobre la superficie hasta que no se visualicen más burbujas.

Un momento antes de colocar los cilindros se debe verificar el punto de equilibrio de la arena pulverizando muy suavemente agua sobre la superficie y verificando que inmediatamente el drenaje gotea. Cuando la arena está en estas condiciones se le coloca sobre la superficie un papel de filtro mojado del tamaño algo mayor a la base del conjunto de cilindros, asegurando que no quede aire atrapado entre la arena y el papel. Debe verificarse que cuando se apoya el cilindro debe hacer buen contacto entre las interfaces sustrato / tela / papel de filtro / arena para facilitar el flujo de agua en todos los puntos. Cada repetición de la muestra se coloca en un lecho diferente y se tapan los lechos (no

herméticamente) para evitar evaporación.

A las 24 hs se verifica que haya llegado al equilibrio, lo que se visualiza porque no gotean las mangueras de salida. En ese momento extraer los equipos y proceder a su desarmado quitando el collar de extensión de cada uno.



Lechos con los cilindros (Fuente Rilsav)

Enrasar suavemente con ayuda de una espátula (u otro instrumento) la muestra al nivel superior del cilindro inferior.



Enrasado del sustrato del cilindro inferior (Fuente Rilsav)

Pesar cada cilindro inferior con la muestra húmeda y registrar su valor en gramos (M1).



Peso del cilindro inferior con el sustrato húmedo (Fuente Rilsav)

Llevar el cilindro con la muestra húmeda a estufa de secado a 105 °C hasta peso constante y registrar su valor en gramos (M2).



Cilindros inferiores con sustrato en la estufa (Fuente Rilsav)

Calcular la capacidad de retención de agua (CRA) y la densidad volumétrica seca (DVs).

$$MH = (M1 - M0)$$

$$MS = (M2 - M0)$$

$$DVS = MS / V_{\text{Cil}}$$

$$\% \text{ CRA} = \frac{MH - MS}{V_{\text{Cil}}} \times 100$$

$$V_{\text{Cil}} = 100 (1 - DVS / D_p)$$

$$\% \text{ PA} = \text{EPT} - \text{CRA}$$

Siendo:

Mh: masa de la muestra húmeda, expresada en gramos.

Ms: masa de la muestra seca a 105°C, expresada en gramos.

M0: masa del equipo vacío expresada en gramos.

M1: masa del equipo conteniendo la muestra húmeda, expresada en gramos.

M2: masa del equipo conteniendo la muestra seca a 105°C, expresada en gramos. V Cil:
Volumen del cilindro, expresado en cm³.

da: Densidad del agua

DVs: Densidad volumétrica en base seca, se expresa en g/cm³ o lo que es lo mismo kilogramo por metro cúbico.

CRA: Capacidad de retención de agua, expresada en % (v/v) de volumen de agua retenido.

Dp: según el protocolo de Materia orgánica y Densidad de partículas.

EPT: Espacio poroso total, expresado en % (v/v).

PA: Poros con aire, expresado en % (v/v).

7.2- Anexo II

7.2.1- Altura de la planta

La tabla 25 presenta los criterios de selección para los diferentes modelos ajustados para la variable altura. De igual forma que para la variable diámetro, al especificar la estructura de correlación AR1 y corregir la heterocedasticidad mediante CV se obtiene la mejor performance en los criterios de selección, por ello se seleccionó el Modelo D.

Tabla 25- Criterios de selección de modelos ajustados a la altura de plantines de Citrus

M	gl	Errores	Varianza	AIC	BIC	logLik	rmse
A	10	Independientes	Homocedástica	3289,97	3340,30	-1632,99	5,73
B	12	AR1	Homocedástica	3229,12	3279,45	-1602,56	7,22
C	13	AR1	Heterocedástica (modelo potencial)	3043,32	3097,84	-1508,66	1,98
D	16	AR1	Heterocedástica (CV)	2951,36	3018,47	-1459,68	1,90

gl son los grados de libertad, AIC expresa el criterio de verosimilitud de Akaike, BIC el criterio de información bayesiano, logLik es el logaritmo de la verosimilitud y rmse la raíz del error cuadrático medio

La significancia estadística de los efectos evaluados bajo el modelo seleccionado para la variable altura se denota en la Tabla 25. El efecto de la interacción (Días x Tratamiento) resultó altamente significativo ($p < 0,0001$) por lo tanto los contrastes múltiples se realizaron a dicho nivel (Tabla 26).

Tabla 26- Pruebas de hipótesis secuenciales bajo el modelo más verosímil (modelo D) al rendimiento en altura de plantines de citrus

FV ^a	GI ^b	F. ^c	p ^d
Días	1	2057,34	0
Trat	4	5,88	0
Dias:Trat	4	90,67	0

^aFuente de Variación; ^bgrados de libertad; ^cEstadístico F; ^dp valor

7.2.2- Diámetro del tallo

La Tabla 27 presenta los criterios de selección de modelos que se obtuvieron al modelar el diámetro de plantines de citrus. En la misma se denota que el de mejor performance corresponde al modelo E. En el que, la correlación entre observaciones se especifica con la estructura autorregresiva de primer orden (AR1) y se corrige la heterocedasticidad mediante componente de varianza (CV) por fecha de medición. En consecuencia, se lo seleccionó a fin de evaluar la significancia estadística de los factores estudiados (Tratamientos y Fechas) y realizar las inferencias necesarias.

Tabla 27- Criterios de selección de modelos ajustados para el diámetro de plantines de Citrus

M	gl	Errores	Varianza	AIC	BIC	logLik	rmse
A	10	Independientes	Homocedástica	405,93	452,29	-191,97	0,36
B	13	AR1	Homocedástica	262,72	317,25	-118,36	0,34
C	12	AR2	Homocedástica	264,66	314,99	-120,33	0,37
D	13	AR1	Heterocedástica (modelo potencial)	160,65	215,18	-67,33	0,18
E	16	AR1	Heterocedástica (CV)	140,41	207,52	-54,20	0,18

gl son los grados de libertad, AIC expresa el criterio de verosimilitud de Akaike, BIC el criterio de información bayesiano, logLik es el logaritmo de la verosimilitud y rmse la raíz del error cuadrático medio

En la Tabla 28 se presentan las pruebas de hipótesis secuenciales del diámetro, bajo el modelo seleccionado (modelo E). En la misma se aprecia la elevada significancia estadística ($p < 0,0001$) del efecto de la interacción, Días por Tratamiento, en consecuencia, las pruebas estadísticas de comparación deben realizarse a dicho nivel.

Tabla 28- Pruebas de hipótesis secuenciales bajo el modelo más verosímil (modelo E) al rendimiento en diámetro de plantines de citrus

FV ^a	gl ^b	F. ^c	p ^d
Días	1	1548,75	0,00
Trat	4	2,69	0,03
Días:Trat	4	63,60	0,00

^aFuente de Variación; ^bgrados de libertad; ^cEstadístico F; ^dp valor

7.2.3- Número de Hojas por planta

La Tabla 29 denota la modelización de la variable número de hoja, en la misma se presenta desde el modelo más parsimonioso al de menor parsimonia (ecuación (1)). En la misma se observa el decaimiento de la devianza residual conforme se agregan efectos fijos al modelo, así el efecto del tiempo (Días) explicó aproximadamente un 71% de la variabilidad total, los tratamientos lo hicieron en un 6,79%, en tanto que la incorporación de la interacción entre, estos términos, no resultó en una reducción significativa de la devianza residual (explica solo un 0,51%). Por lo explicitado anteriormente se seleccionó el modelo sin interacción (tercer modelo en la Tabla 29).

Tabla 29- Performance de los modelos ajustados al número de hojas en plantines de citrus (familia de distribución Poisson)

Modelo ^a	gl ^b	Devianza ^c	% PE ^d
Nulo	499	1356,8481	
Días	498	389,1929	71,32
Días + Tratamiento	494	297,0904	6,79
Full (1)	490	290,1329	0,51

^a Efectos que conforman al modelo - ^b grados de libertad - ^c Devianza residual del modelo - ^d Proporción de la devianza explicada por el factor incluido en el modelo respecto al anterior

Como en la selección de modelos se determinan que efectos son significativos, no es necesaria la especificación de las hipótesis secuenciales.

7.2.4- Índice Spad

En la Tabla 30 se observa que la inclusión del término de interacción no incrementó la verosimilitud de los modelos, por lo cual dicho efecto resultó no significativo (esto siempre bajo las evidencias colectadas). Por otra parte, las magnitudes de los indicadores AIC y BIC disminuyeron al incluir la estructura AR1 pero no mejoraron al incorporar modelos de la varianza. En consecuencia, el modelo que se selecciono fue el C (Tabla 30): sin termino de interacción (Días x Tratamiento), con estructura de covarianza AR1 y Homocedástica.

Tabla 30- Criterios de selección de modelos ajustados al SPAD de plantines de Citrus

Modelo	Interacción	errores	varianza	gl	AIC	BIC	logLik	rmse
A	No	Independientes	Homocedástica	6	3211,78	3239,69	-1598,89	13,54
B	Si	Independientes	Homocedástica	10	3212,27	3256,12	-1595,14	13,49
C	No	AR1	Homocedástica	8	3188,30	3220,08	-1586,15	13,61
D	Si	AR1	Homocedástica	12	3203,72	3251,26	-1589,86	13,57
E	No	AR1	Heterocedástica (MP)	9	3190,23	3225,97	-1586,11	13,14
F	No	AR1	Heterocedástica (CV)	11	3188,33	3232,01	-1583,16	13,76

gl son los grados de libertad, AIC expresa el criterio de verosimilitud de Akaike, BIC el criterio de información bayesiano, logLik es el logaritmo de la verosimilitud y rmse la raíz del error cuadrático medio

En la Tabla 31 se presenta la significancia de los efectos fijos incluidos en el modelo más verosímil (C) a la variable Spad, ambos efectos resultan significativos. La tabla de resumen de contrastes múltiples, Tabla 9, muestra las diferencias entre tratamientos, únicamente se destaca que el T5 difiere significativamente del resto de tratamientos excepto de T4. En tanto que el cambio de Spad por cada día fue de -0,48 (resumen del modelo C en Anexo).

Tabla 31- Pruebas de hipótesis secuenciales bajo el modelo más verosímil (modelo C) al Spad de plantines de citrus

FV ^a	gl ^b	F ^c	p ^d
Trat	4	5,81	<0,001
Días	1	298,65	<<0,001

^a Fuente de Variación; ^b grados de libertad; ^c Estadístico F; ^d p valor

7.3- Anexo III

7.3.1- Análisis de la varianza

7.3.1.1- Porcentaje de germinación

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Germinación %	36	0,98	0,97	3,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	5509,89	11	500,90	100,74	<0,0001
Tratamiento	411,06	2	205,53	41,34	<0,0001
T concentración	4609,89	3	1536,6	309,04	<0,0001
Tratamiento*t concentración	488,94	6	81,49	16,39	<0,0001
Error	119,33	24	4,97		
Total	562	35			

Test: Tukey - Alfa: 0,05 - DMS: 2,27355 - Error: 4,9722 - gl: 24

Tratamientos	medias	n
T5	68,25	12 a
T4	68,42	12 b
T3	75,50	12 b

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05)

Test: Tukey - Alfa:0,05 - DMS:2,89955 - Error:4,9722 - gl: 24

t concentración	medias	n
100,00	54,78	9 a
75,00	66,33	9 b
50,00	76,89	9 c
25,00	84,89	9 d

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05)

Test: Tukey - Alfa: 0,05 - DMS: 6,56447 - Error: 4,9722 - gl: 24

Tratamiento	t concentración	medias	n					
T5	100,00	52,33	3	a				
T3	100,00	52,33	3	a				
T4	100,00	59,67	3		b			
T4	75,00	61,00	3		b			
T5	75,00	66,00	3		b	c		
T4	50,00	70,67	3			c	d	
T3	75,00	72,00	3			c	d	
T5	50,00	73,33	3				d	
T5	25,00	81,33	3				e	
T4	25,00	82,33	3				e	
T3	50,00	86,67	3				e	f
T3	25,00	91,00	3					f

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

7.3.1.2- Porcentaje de elongación

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Elongación %	36	0,98	0,97	3,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	5124,22	11	465,80	100,42	<0,0001
Tratamiento	944,22	2	472,11	101,77	<0,0001
T concentración	3864,22	3	1288,07	277,67	<0,0001
Tratamiento*t concentración	315,78	6	52,63	11,35	<0,0001
Error	111,33	24	4,64		
Total	5235,56	35			

Test: Tukey – Alfa :0,05 - DMS: 2,19602 – Error: 4,6389 - gl: 24

Tratamientos	medias	n	
T4	63,17	12	a
T5	66,00	12	b
T3	75,17	12	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Tukey – Alfa :0,05 - DMS: 2,80067 – Error: 4,6389 - gl: 24

t concentración	medias	n	
100,00	52,00	9	a
75,00	67,22	9	b
50,00	73,11	9	c
25,00	80,11	9	d

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Tukey - Alfa: 0,05 - DMS: 6,34061 - Error: 4,6389 - gl: 24

Tratamiento	t concentración	medias	n				
T5	100,00	46,00	3	a			
T4	100,00	52,33	3	a	b		
T3	100,00	57,67	3		b	c	
T4	75,00	61,67	3			c	d
T5	75,00	62,67	3			c	d
T4	50,00	66,00	3				d e
T5	50,00	72,33	3				e f
T4	25,00	72,67	3				f
T3	75,00	73,33	3				f g
T3	50,00	81,00	3				g h
T5	25,00	83,00	3				g h
T3	25,00	84,67	3				h

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)