

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFECTO DE DIFERENTES ENVASES EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE TRES
CLONES DE *Eucalyptus grandis*

por

Milena Daiana GONZÁLEZ CHÁVES

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO

URUGUAY

2016

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. (MSc.) Luis Gallo

Lic. Est. Inés Berro

Ing. Agr. María O'Neill

Fecha: 4 de agosto de 2016

Autor: -----

Milena Daiana González Cháves

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todo el cuerpo docente del Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la madera, en especial, al Ing. Agr. (MSc.) Luis Gallo por brindar sus conocimientos y su ayuda como tutor. Un agradecimiento muy especial a la Lic. Est. Inés Berro del Departamento de Biometría y Bioestadística que con su gran disponibilidad, conocimientos y voluntad estuvo presente para ayudarme en los trabajos estadísticos.

A la empresa COFUSA, principalmente a la Ing. Agr. María O'Neill por la oportunidad de realizar este trabajo y brindarme toda la información necesaria conjuntamente a su equipo de ensayo que con gran disponibilidad me ayudaron a instalar el mismo.

Quiero dedicar esta tesis a mi familia, en especial, mis padres María Elena Cháves y Ramón González quienes me dieron la educación necesaria para poder seguir y avanzar por mí misma. A mis hermanas y hermanos que son y serán parte de toda mi vida. A mis amigas de infancia que desde la escuela me acompañan y a mis amigos de facultad, algunos ya hermanos, los cuales hemos compartido innumerables vivencias, experiencias y noches de estudio.

En fin, esta tesis va dedicada a todos los que han aportado su grano de arena a mi formación personal y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>GÉNERO <i>Eucalyptus</i></u>	3
2.1.1. <u><i>Eucalyptus grandis</i></u>	3
2.1.1.2. Características morfológicas.....	3
2.1.1.3. Distribución natural, requerimientos climáticos y edafológicos.....	4
2.2. <u>MEJORAMIENTO GENÉTICO</u>	4
2.2.1. <u>Introducción</u>	4
2.2.2. <u>Objetivos del mejoramiento genético</u>	5
2.2.3. <u>Fuentes de variación</u>	5
2.3. <u>PROPAGACIÓN</u>	6
2.3.1. <u>Reproducción sexual</u>	6
2.3.2. <u>Reproducción asexuada</u>	7
2.4. <u>USOS DE LA CLONACIÓN</u>	9
2.4.1. <u>Uso comercial</u>	9
2.4.2. <u>Utilidad en el mejoramiento genético</u>	9
2.4.3. <u>Desventajas del mejoramiento genético forestal</u>	10
2.5. <u>CONTENEDORES O ENVASES</u>	10
2.5.1. <u>Características principales de los envases</u>	11
2.5.1.1. Tamaño.....	11
2.5.1.2. Volumen.....	11
2.5.1.3. Profundidad.....	12
2.5.1.4. Orificio de drenaje.....	12
2.5.1.5. Poda radicular y sistema antiespiralamiento.....	12
2.5.2. <u>Ventajas e inconvenientes del uso de envases</u>	13
2.5.2.1. Ventajas.....	13
2.5.2.2. Inconvenientes.....	13
2.5.3. <u>Tipos de envases</u>	14
2.5.3.1. Bolsas de polietileno.....	14
2.5.3.2. Macetas redondas.....	14
2.5.3.3. Jiffy pellets.....	15

2.5.3.4. Paper-pot.....	15
2.5.3.5. Celdas individuales sostenidas por un portacontenedores.....	15
2.5.3.6. Bandejas/bloques de muchas cavidades o celdas.....	16
2.5.3.7. Bloques de poliestireno expandido.....	16
2.6. SUSTRATOS.....	16
2.6.1. <u>Funciones del sustrato</u>	17
2.6.2. <u>Características de los sustratos</u>	18
2.6.2.1. pH ligeramente ácido.....	18
2.6.2.2. Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	19
2.6.2.3. Baja fertilidad intrínseca.....	20
2.6.2.4. Adecuado equilibrio del tamaño de los poros.....	20
2.6.3. <u>Componentes más usados en la formulación de sustratos</u>	21
2.6.3.1. Componentes orgánicos.....	21
2.6.3.2. Componentes inorgánicos de los sustratos.....	23
2.7. CALIDAD DE PLANTA EN VIVEROS FORESTALES.....	24
2.7.1. <u>Características morfológicas</u>	25
2.7.1.1. Altura.....	25
2.7.1.2. Diámetro del cuello de la raíz.....	26
2.7.1.3. Tamaño del sistema radicular.....	27
2.7.1.4. Peso de la planta.....	27
2.8. INTERACCIÓN DE VARIABLES: ÍNDICE DE ROBUSTEZ.....	28
2.9. EL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS.....	28
2.9.1. <u>Diseño en bloques completos al azar (DBCA)</u>	29
2.9.1.1. Ventajas del DBCA.....	30
2.9.1.2. Desventajas del DBCA.....	30
2.9.2. <u>Diseño factorial</u>	30
2.9.2.1. Ventajas del diseño factorial.....	31
2.9.2.2. Desventajas del diseño factorial.....	31
2.9.2.3. Análisis de la varianza.....	32
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	33
3.1. LOCALIZACIÓN.....	33
3.2. RECURSOS NATURALES.....	33
3.2.1. <u>Geología</u>	33
3.2.2. <u>Suelos</u>	34
3.2.2.1. Suelo 7.31.....	34
3.2.3. <u>Caracterización agroclimática</u>	34
3.2.3.1. Precipitaciones.....	34
3.2.3.2. Temperaturas.....	35
3.2.3.3. Heladas agrometeorológicas.....	36
3.3. METODOLOGÍA.....	38
3.3.1. <u>Tratamientos</u>	38

3.3.2. <u>Metodología de trabajo</u>	39
3.3.3. <u>Procesamiento de los datos</u>	39
3.3.3.1. <u>Análisis descriptivo</u>	39
3.3.3.2. <u>Análisis estadístico</u>	40
3.4. <u>PRIMERA ETAPA: VIVERO</u>	41
3.4.1. <u>Producción de plantines en vivero</u>	41
3.4.2. <u>Índice de robustez</u>	41
3.4.3. <u>Modelo</u>	42
3.5. <u>SEGUNDA ETAPA: CAMPO</u>	42
3.5.1. <u>Diseño experimental</u>	42
3.5.2. <u>Sobrevivencia</u>	43
3.5.3. <u>Volumen</u>	44
3.5.3.1. <u>Volumen por tratamiento</u>	45
3.5.3.2. <u>Volumen por tubete</u>	45
3.5.4. <u>Modelo estadístico de volumen</u>	46
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	47
4.1. <u>VIVERO: ETAPA 1</u>	47
4.1.1. <u>Estadística descriptiva</u>	47
4.1.2. <u>Análisis estadístico</u>	50
4.1.2.1. <u>Análisis de DAC</u>	54
4.2. <u>SOBREVIVENCIA: ETAPA 2</u>	56
4.2.1. <u>Estadística descriptiva</u>	56
4.2.2. <u>Análisis estadístico</u>	59
4.3. <u>VOLUMEN A CAMPO</u>	60
4.3.1. <u>Estadística descriptiva</u>	60
4.3.2. <u>Análisis estadístico</u>	65
5. <u>CONCLUSIONES</u>	67
6. <u>RESUMEN</u>	69
7. <u>SUMMARY</u>	70
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	71
9. <u>ANEXOS</u>	75

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Combinación de clones y tubetes.....	38
2. Volumen de cada tubete.....	38
3. Índice de robustez según tratamiento.....	47
4. Resultados ANAVA para <i>E.grandis</i>	50
5. Contrastes según clon SS10.....	50
6. Contrastes según clon SS12.....	51
7. Contrastes según clon SS17.....	51
8. Resultados ANAVA para DAC (mm).....	54
9. Contrastes según clon SS10.....	54
10. Contrastes según clon SS12.....	54
11. Contrastes según clon SS17.....	55
12. Proporción de vivos y desvíos, según tratamiento.....	57
13. Resultados ANAVA para <i>E.grandis</i>	59
14. Contrastes según clones.....	59
15. Volumen por hectárea según tratamiento.....	60
16. Parámetros promedios por hectárea.....	60
17. Desvíos dm ³ /planta, según tratamiento.	62
18. Resultados ANAVA para <i>E.grandis</i>	65

19. Contrastes según tubetes.....	65
Figura No.	
1. Límites y ubicación del predio.....	33
2. Croquis del ensayo.....	43
Gráfico No.	
1. Precipitaciones acumuladas medias mensuales de Paso Ataques, período 1980 – 2009.....	35
2. Caracterización del régimen térmico (°C) de Rivera, período 1980-2009.....	36
3. Ocurrencia de heladas (días y décimas de ocurrencia) en Rivera, correspondiente al período 1980-2009.....	37
4. Índice de robustez, según genotipo.....	48
5. Índice de robustez, según tubetes.....	49
6. Índice de robustez, interacción clon* tubete, según clones.....	52
7. Índice de robustez, interacción clon* tubete, según tubetes.....	53
8. DAC (mm).....	55
9. Supervivencia a campo, según tratamiento.....	56
10. Supervivencia a campo, según genotipos.....	58
11. Volumen a campo por planta según tratamiento.....	61
12. Volumen por planta según tubete y tratamiento.....	63
13. Volumen por planta según tubete.	64
14. Volumen por hectárea.	66

1. INTRODUCCIÓN

Según información de la Dirección General Forestal el sector forestal uruguayo cuenta con un área total de 1.545.053 hectáreas, de las cuales 849.960 corresponden a bosques naturales y cerca de 695.093 de hectáreas a plantaciones, predominando el género *Eucalyptus*, con 431.458 hectáreas de las especies *Eucalyptus globulus ssp globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus saligna*. Aproximadamente 170.570 hectáreas del género *Pinus* (MGAP. DGF, 2012).

El área de suelos declarada de prioridad forestal alcanza las 3.342.218 millones de hectáreas (MGAP.DGRNR, 2006) lo que indica que aún queda disponible para la forestación el 54% del área declarada de propiedad forestal (MGAP.DGF, 2012).

San Román, citado por Tamosiunas (2011) plantea que el inicio de las plantaciones forestales en Uruguay se asocia con el eucalipto que fue introducido en 1853 desde Australia, pero es a partir de las consultorías de Winkelman en 1950, y Winkelman y Hutton en 1953, que se desarrolla como estrategia específica, el cultivo de varios géneros de árboles para brindar servicios de protección agropecuaria. Por otra parte es en la década del 60, en que se desarrolla la tecnología de plantación apropiada para extraer madera de calidad industrial. En 1968 se aprueba la primera ley forestal y la segunda en 1987. Con la experiencia acumulada y el apoyo de la nueva reglamentación, es que a partir de 1990 comienza el efectivo desarrollo del sector forestal. En este período, se evoluciona de una superficie de 40 mil a casi 700 mil hectáreas con forestación (Tamosiunas, 2011).

El modelo forestal existente en Uruguay apunta a la producción de pulpa, papel y madera aserrada y está básicamente orientado a la exportación (Bennadji, 2007).

El presente trabajo se enmarca dentro del programa de investigación y desarrollo de la empresa Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima (COFUSA). La finalidad de este ensayo es la evaluación del efecto de diferentes tipos de envases utilizados en el vivero Ceballos y el efecto de una posible interacción con distintos tipos de clones de la especie *Eucalyptus grandis*.

Los envases se diferencian en si básicamente por el tamaño (volumen) y la ranura lateral que presenta uno de ellos para la poda lateral de las raíces. El ensayo consta de cuatro diferentes tipos de envases F63, 104, B77 y B96, y tres clones comerciales de *Eucalyptus grandis*, SS17, SS12 y SS10. Además de un testigo de semilla SS0, el cual se sembró en bandeja.

Las mediciones en vivero se llevaron a cabo el 5 de noviembre del año 2014, donde se midió diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura de los distintos clones en

los tres tipos de envases y el testigo de semilla sembrado en bandeja. Las mediciones a campo se llevaron a cabo el 2 de abril del año 2015, se midió diámetro al nivel del suelo, altura y sobrevivencia.

Para la evaluación en vivero del efecto de estos factores con los datos de DAC y altura se determinó un índice de robustez: altura / DAC (cm/mm). A nivel de campo para la evaluación del efecto de estos factores el análisis se enfoca en características de crecimiento como ser el volumen por unidad de superficie (dm³ / ha.) y sobrevivencia (en %).

Los objetivos del ensayo son:

1. En vivero determinar el mejor envase para obtener la mejor calidad de plantin.
2. En campo determinar el mejor envase y clon para optimizar sobrevivencia y volumen a los primeros 4 meses de plantación.
3. Determinar una posible interacción entre los distintos envases y clones en vivero y campo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GÉNERO *Eucalyptus*

El género *Eucalyptus* cuenta con unos 600 taxones específicos y subespecíficos originarios de Australia e islas vecinas. El área de dispersión natural se localiza entre los 7° N y 43° S de latitud. La gran mayoría de las especies se encuentran confinadas en el territorio Australiano, centro de origen del género; unas pocas se reportan fuera de este territorio (Brussa, 1994).

En el continente Australiano la distribución de las especies está directamente relacionada con las diferentes situaciones ecológicas, determinadas fundamentalmente por las condiciones climáticas y tipos de suelos. Muchas especies presentan alto grado de sensibilidad al sitio forestal, regulado por las condiciones edáficas, mientras que otras poseen mayor grado de plasticidad respecto a este factor (Brussa, 1994).

La gran extensión del territorio, que abarca regiones tropicales hasta templados-frías, la situación insular y la presencia de una zona desértica central determina que las zonas de igual temperatura, precipitación, humedad y evaporación, presenten una distribución regularmente concéntrica; las diferentes regiones climáticas están determinadas por la distribución estacional de las precipitaciones, abundancia y variación anual. Estas zonas definen la localización de las especies de *Eucalyptus* y los diferentes tipos de vegetación (Brussa, 1994).

Eucalyptus constituye un complejo género con follaje persistente localizado en la botánica sistemática dentro de la familia de las Mirtáceas, subfamilia *Leptospermideae*; presenta gran afinidad con el género *Angophora* (Johnson y Ladiges, citados por Brussa, 1994).

2.1.1. *Eucalyptus grandis*

2.1.1.2. Características morfológicas

Gran árbol, de tronco recto y muy buen desrame natural; follaje de textura media a gruesa. Corteza caduca en largas fajas, ritidoma gris verdoso a gris blanquecino, la porción basal persistente (1 a 3 m de altura) escamosa. Las primeras hojas son ovales y opuestas, las juveniles son alternas, ovales y pecioladas de ápice agudo y acuminado, base redondeada, de color verde oscuro en el haz y muy discoloras. Las hojas intermedias son alternas, pecioladas, oval- lanceoladas (14-18 x 3-6 cm), de ápice agudo y acuminado, base cuneada, verde oscuras muy discoloras. Las adultas son alternas, pecioladas, lanceoladas (10-18 x 2-3,5 cm), ápice agudo y acuminado, base cuneada, verde oscuras, discoloras y nervaduras secundarias transversales (Brussa, 1994).

Flores de siete a once flores agrupadas en inflorescencias simples, axilares, sobre pedúnculos achatados (0,8-1,5 cm); con botones florales ovoides o globosos (0,5-0,8 x 0,5-0,6 cm), generalmente glaucos, pedicelos angulosos (0,1-0,4 cm), opérculo cónico o rostrado, de menor tamaño que el hipantio. La floración se da a fines del verano comienzo del otoño y además existe una segunda floración que se da a comienzo de la primavera pero de menor magnitud (Brussa, 1994).

2.1.1.3. Distribución natural, requerimientos climáticos y edafológicos

Naturalmente se localiza en el este del continente australiano, en áreas disjuntas de la región norte y centro, costero (sur) y continental (norte), con diferentes registros altitudinales (0-600m entre 25° y 33° S, 500 m a los 21° S y alrededor de 1100 m entre 16° y 19° S); clima templado (sur) hasta tropical (norte), con un promedio de temperaturas máximas de 24-30°C (sur) y 29-32°C (norte), mínimas de 3-8°C(sur) a 10-17°C(norte), con heladas escasas en localizaciones alejadas de la costa; húmedo, con precipitaciones estivales con una media anual de 1000 a 3500mm (Hall, Johnston y Marryat, FAO, Boland et al., citados por Brussa, 1994).

Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de textura limosa y bien drenados (Kelly et al., Boland et al., citados por Brussa, 1994).

2.2. MEJORAMIENTO GENÉTICO

2.2.1. Introducción

Históricamente, los forestales por lo general no consideraban a los árboles como plantas típicas que poseen sistemas hereditarios similares a los que tienen los demás organismos vivos. La variabilidad genética fue ignorada y, de una manera u otra, se tenía idea de que el desarrollo de un árbol dependía solo del ambiente en el cual crecía. Hasta hace algún tiempo, se reconoció que en general el origen paterno de los árboles es importante y que los cambios y mejoras del crecimiento y calidad de estos se logran por medio de cruza y control de los padres (Zobel y Talbert, 1994).

El mejoramiento forestal comprende todas aquellas actividades dirigidas a producir árboles genéticamente más deseables, incluyendo el cruce controlado de individuos con características superiores. Por medio de la selección se busca utilizar los mejores genotipos que se han desarrollado en la naturaleza. Mediante el cruce controlado de progenitores seleccionados se trata de producir genotipos nuevos, que combinen además propiedades favorables (Willan y Barner, 1993).

El mejoramiento genético forestal se define como la identificación y desarrollo de poblaciones genéticamente superiores de especies forestales, y el uso de estas poblaciones como fuentes de semilla (u otro material propagativo) para establecer plantaciones mejoradas. El término “poblaciones genéticamente superiores” se refiere a poblaciones con características genéticas tales que, la semilla o el material vegetativo procedente de ellas produzca árboles mejores en cuanto a una o más características relacionadas con la cantidad o calidad del producto final (Zobel y Talbert, 1994). El mejoramiento necesita del desarrollo de técnicas eficaces de propagación masiva, vía sexual o vegetativa, para que los genotipos superiores puedan ser usados en plantaciones a gran escala (Willan y Barner, 1993).

2.2.2. Objetivos del mejoramiento genético

De acuerdo a Willan y Barner (1993) el objetivo del mejoramiento genético forestal alude a maximizar la adaptabilidad de las especies a los sitios potenciales de plantación y por ende la sobrevivencia, la tasa de crecimiento, la resistencia a enfermedades y la calidad del producto final de los árboles.

Según Zobel y Talbert (1994) existen dos aspectos a considerar en cualquier programa exitoso de mejoramiento genético forestal, el primero se relaciona con la obtención de un incremento inmediato de los productos deseados tan rápida y eficientemente sea posible. El segundo aspecto está relacionado con la necesidad, a largo plazo, de obtener una amplia base genética.

2.2.3. Fuentes de variación

Básicamente, todas las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores: los diferentes ambientes en los cuales los árboles crecen, las diferencias genéticas entre los árboles, y las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y los ambientes en los cuales éstos crecen (Zobel y Talbert, 1994).

La variación genética es la base del mejoramiento genético forestal y debe ser separada de la variación causada por diferencias en edad y por las condiciones ambientales. Cuando se estudian los árboles, lo que se observa es el producto de la interacción entre los genes del árbol con el ambiente. El fenotipo de un árbol es lo que se ve y se mide y con lo que se trabaja. El genotipo es el potencial genético del árbol y no siempre se puede observar directamente (Barner et al., 1992).

La variación genética se separa generalmente en componentes aditivos y no aditivos, de modo que la variación genética = variación aditiva + variación no aditiva, la variación aditiva es causada por los efectos acumulativos de los alelos en todos los loci que determinan una característica. La variación genética no aditiva se divide en dos tipos: dominancia, causada por la interacción de alelos específicos en un locus, mientras

que la variación por epistasia es causada por la interacción entre loci (Zobel y Talbert, 1994).

La variación genética es la principal herramienta con que se cuenta en el mejoramiento genético. Previo a incluir una especie arbórea en un programa de mejoramiento, es necesario determinar la cantidad, causa y naturaleza de la variación presente y saber cómo usarla (Zobel y Talbert, 1984).

2.3. PROPAGACIÓN

El material de propagación es la parte de la planta madre que se usa para hacer nuevas plantas. Hay dos tipos: de origen sexual (semillas) y de origen vegetativo (estacas, injertos, acodos, etc.). Los árboles producidos por semilla son generalmente más altos, de raíz profunda y no son exactamente iguales, lo que es favorable ante enfermedades o plagas. Los árboles producidos en forma vegetativa (asexual o agámica, según si existe o no polinización) repiten exactamente las características de la planta madre (Naval s.f., Plata 1990).

2.3.1. Reproducción sexual

La reproducción por semilla es la más común. Este tipo de reproducción está compuesto por una serie de eventos biológicos que se inician con el proceso de la floración. Dos células especializadas, polen y óvulo, se unen y producen la fecundación con lo cual inicia el proceso de reproducción. La maduración de la flor con el óvulo fecundado trae como consecuencia la formación de un fruto que protege las semillas recién formadas. Cuando el fruto está maduro, se inicia la dispersión de las semillas (Trujillo, 1995).

Si la semilla se requiere de inmediato en un programa operativo, un procedimiento vial es seleccionar los mejores fenotipos de plantaciones o de rodales naturales, marcar los árboles y coleccionar la semilla. La colecta de semilla en los mejores árboles se hace por lo general durante o antes de la operación de corta (Zobel y Talbert, 1994).

La semilla proveniente de los mejores fenotipos en los cuales se desconoce y no se ha seleccionado el progenitor masculino, suele aportar únicamente un mejoramiento de volumen limitado, debido a la baja heredabilidad del crecimiento, en la mayoría de las especies. Los mejores individuos de los rodales naturales están bien adaptados a las áreas donde crecen. Si se seleccionan árboles en plantaciones de especies nativas o exóticas, se obtendrá una raza local introducida que estará mejor adaptada al sitio de la plantación que a la plantación original (Zobel y Talbert, 1994).

Anderson, citado por Zobel y Talbert (1994) sostiene que el método más común para obtener semilla genéticamente mejorada en cantidades comerciales, es

utilizar el método del huerto semillero. El huerto semillero es un área donde la semilla se produce masivamente para obtener la mayor ganancia genética, lo más rápido y económicamente posible (Zobel y Talbert, 1994).

Ruano (2008), define al huerto semillero como una plantación de clones o de descendientes seleccionados, aislados contra toda polinización extraña o instalado con el fin de evitar o de limitar tal polinización y administrado como objeto de producir cosechas frecuentes, abundantes y fáciles.

2.3.2. Reproducción asexual

La variación genética está separada ampliamente en sus componentes aditivo y no aditivo. Cuando se utiliza la regeneración a partir de semillas, solo la porción aditiva de la variación genética puede ser manipulada (Zobel y Talbert, 1994).

Fielding, citado por Zobel y Talbert (1994), sostiene que para algunas características, las ganancias obtenidas mediante el uso de la regeneración a partir de semillas serán grandes, pero para aquellas que abarquen cantidades significativas de varianza no aditiva, como ciertas características del crecimiento, las ganancias obtenidas a través de la producción de semillas sólo serán una pequeña parte del potencial que sería posible si se utilizara la propagación vegetativa. En términos generales, el uso de la propagación vegetativa permite captar y transferir al nuevo árbol todo el potencial del árbol donador (Zobel y Talbert, 1994).

Hartman y Kester, citados por Zobel y Talbert (1994) mencionan que existen muchos tipos de propagación vegetativa. En las plantaciones operativas, el mayor énfasis se ha puesto en el uso de estacas enraizadas. El injerto se utiliza comúnmente para preservar árboles en bancos clonales o establecer huertos semilleros (Zobel y Talbert, 1994).

Estaquillar consiste en separar de un vegetal un órgano o un fragmento de órgano, para ayudarle a subsistir en condiciones ambientales favorables, y después a regenerarse, es decir, a reproducir lo que le falta para constituir una nueva planta. El conjunto de individuos así obtenidos a partir de una misma planta, constituye lo que se denomina un clon (Ruano, 2008).

Según Ruano (2008), el clon es un material genéticamente uniforme, procedente vegetativamente de un vegetal, o de descendientes de éste a partir de sucesivos propágulos vegetativos. El primer donante se denomina ortet y los individuos obtenidos a partir del mismo, se denominan ramets. El conjunto de ortets y ramets constituyen el clon.

Un clon se define como un grupo de individuos genéticamente idénticos que derivan de un sólo individuo mediante propagación asexual. La clonación es un fenómeno que se da frecuentemente en la naturaleza. Todas aquellas especies que se propagan vegetativamente (por formación de estolones, bulbos, etc.) y que originan individuos idénticos a sí mismos, están originando clones (Trujillo, 2000).

La especie *Eucalyptus grandis* es originaria de Australia. Se propaga naturalmente por semilla, sin embargo mantiene latentes, estructuras vegetativas capaces de originar nuevas plantas. Bajo condiciones de máximo estrés, estas estructuras se desarrollan y por eso es frecuente observar numerosos rebrotes luego del tronchado de los árboles o sobre ramas caídas. Estos rebrotes están formados por tejidos jóvenes con una alta plasticidad morfogénica (Trujillo, 2000).

De acuerdo a Mesén (1998), en silvicultura clonal no interesa la producción de semilla, sino generar árboles de crecimiento ortotrópico normal, similares al árbol que les dio origen (ortet). Para esto, la técnica más utilizada es la de enraizamiento de estacas, utilizando material fisiológicamente juvenil. Siendo esta una de las principales limitaciones, ya que la selección de los árboles a propagar se basa en características tales como rectitud de fuste, volumen, hábito de ramificación, densidad de la madera, etc., que se expresan a edades adultas, cuando el árbol ha perdido su condición de juvenil.

Las estacas deben ser cosechadas de brotes ortotrópicos, sanos y vigorosos, de 30-50 cm de longitud. El entrenudo terminal se elimina, ya que éste normalmente es demasiado suave y propenso al marchitamiento, lo mismo que los entrenudos basales que estén demasiado lignificados. Cada brote genera alrededor de 6 a 10 estaquitas. Éstas se producen haciendo un corte inclinado justo sobre cada hoja, de manera que cada una consiste de una sección de entrenudo, una hoja y al menos una yema, la cual dará origen al nuevo tallo. No se recomienda utilizar estacas demasiado cortas (menos de 4 cm de longitud) porque entonces la hoja queda en contacto permanente con el sustrato, lo cual puede favorecer la pudrición de la hoja. La estaquita debe conservar parte de la hoja, por ser ésta la fuente de asimilados, auxinas y otras sustancias, vitales para el enraizamiento. Sin embargo, la hoja también proporciona una amplia superficie para la pérdida de agua por transpiración. Por estas razones la hoja debe recortarse a un tamaño tal que se logre el mejor balance entre las desventajas de la transpiración y las ventajas de la fotosíntesis (Mesén, 1998).

Las hojas deben ser eliminadas completamente, excepto las últimas dos, que se recortan hasta dejarlas aproximadamente a 1/3 de su lámina foliar (Badilla y Murillo, 2005).

2.4. USOS DE LA CLONACIÓN

2.4.1. Uso comercial

La clonación de individuos puede tener varias aplicaciones. Desde el punto de vista comercial, la clonación permite tener plantaciones uniformes formadas por individuos que han demostrado ser superiores, lo que permite maximizar el aprovechamiento de los bosques (Trujillo, 2000). Permite un uso directo de los propágulos vegetativos en plantaciones operativas (Zobel y Talbert, 1994).

De acuerdo a Zobel y Talbert (1994), las ventajas de la propagación vegetativa en la plantación operativa son las siguientes: potencial para obtener mayores ganancias genéticas, potencial para obtener una uniformidad en la cosecha de árboles mayor que la que es posible a través de la regeneración por semilla; y bajo ciertas condiciones, la oportunidad de acelerar los resultados de las actividades del mejoramiento genético forestal.

Otra ventaja de la propagación vegetativa es la rapidez con la cual pueden utilizarse las cualidades genéticas deseadas de los árboles seleccionados (Zobel y Talbert, 1994).

2.4.2. Utilidad en el mejoramiento genético

El hecho de clonar individuos hace posible estudiar el comportamiento de un genotipo en varias condiciones al mismo tiempo, movilizar genotipos a zonas de interés, instalar huertos semilleros formados por sólo individuos selectos, conservar germoplasmas por un período indefinido de tiempo, aplicar técnicas de ingeniería genética (Trujillo, 2000).

Zobel y Talbert (1994), resumen el uso de la propagación vegetativa en lo siguiente: la preservación de genotipos mediante el uso de bancos clonales, multiplicación de genotipos convenientes para usos especiales, tales como huertos semilleros o huertos de investigación, evaluación de los genotipos y su interacción con el ambiente a través de pruebas clonales y obtención de máximas ganancias genéticas al utilizar para regeneración en programas operativos de plantación.

2.4.3. Desventajas del mejoramiento genético forestal

Entre las principales desventajas de la multiplicación vegetativa de especies forestales se cita el riesgo en la reducción de la base genética de las plantaciones clonales, cuando se hace uso de un pequeño número de clones y la no ocurrencia de ganancia genética adicional de la primera generación de selección, la dificultad de obtener enraizamiento en algunas especies o clones y la dificultad de ocurrencia de enraizamiento en plantas no juveniles (Wendling, 2003).

Zobel y Talbert (1994), citan como limitante importante para el enraizamiento de estacas su dependencia a la edad, los árboles jóvenes suelen enraizar rápidamente, pero puede ser casi imposible enraizar los mismos árboles cuando están maduros.

El riesgo de plantar grandes áreas con un sólo clon surge cuando la adaptabilidad del genotipo clonal es superada por las condiciones adversas (Zobel y Talbert, 1994).

2.5. CONTENEDORES O ENVASES

La producción y empleo de plantas para la repoblación cultivadas en envase, que mantienen íntegro el sistema radical y la tierra que lo rodea durante todo el proceso de cultivo, transporte y plantación, tiene una utilidad y necesidad que se derivan del análisis de sus ventajas e inconvenientes respecto del empleo de plantas a raíz desnuda (Serrada, 2000).

La elección del contenedor es una de las consideraciones más importantes al establecer un nuevo vivero o empezar a producir una especie nueva. El tipo y tamaño de contenedor no sólo determina la cantidad de agua y nutrientes minerales que están disponibles para el crecimiento de una planta, sino que también afecta otros aspectos operativos del vivero, como el tamaño de la mesada y el tipo de equipo para el llenado y extracción de los contenedores. Las celdas o cavidades, en las cuales crecen las plantas, pueden estar unidas en “bandejas” o “bloques”; o bien pueden ser recipientes individuales, conocidos como “tubetes”, que son sostenidos por una estructura denominada porta contenedor (Buamscha et al., 2012).

De acuerdo a Ruano (2008), para que una planta de repoblación, el cepellón (sistema radical incluido) es, en principio, el factor más importante para su supervivencia en el monte. Y dicha supervivencia y posterior crecimiento, están directamente relacionados con la capacidad que tenga el sistema radical para generar rápidamente nuevas raíces.

La distancia entre alveolos que existe en la bandeja o en el bloque de envases de cultivo, es otro de los factores de importancia que afecta principalmente a la densidad de las plántulas, y por tanto al crecimiento del meristemo principal en busca de la luz. Un exceso de densidad suele producir brinzales de porte alto, de tallo fino, sin ramificaciones y débiles en general, se dice entonces que las plantas están ahiladas (Ruano, 2008).

2.5.1. Características principales de los envases

2.5.1.1. Tamaño

El tamaño del envase es el parámetro que influye más directamente sobre la formación del sistema radical, y por tanto, el contenedor óptimo para un cultivo de plántulas dependerá principalmente de dos factores: el biológico y el económico (Ruano, 2008).

El tamaño del contenedor puede determinarse en función de varias de sus expresiones, de las cuales el volumen, la profundidad y el diámetro son las más importantes (Ruano, 2008).

2.5.1.2. Volumen

El volumen de un contenedor determina el tamaño que podrá alcanzar la planta que crezca en el mismo. La dimensión óptima está relacionada con la especie, el tamaño de planta deseado, la densidad de cultivo, la duración de la estación de crecimiento y el medio de crecimiento que se utilice. En todos los viveros, la limitación al tamaño de los contenedores es económica, porque los costos de producción son una función del número de plantas que pueden producirse por unidad de superficie, en un tiempo dado. Los contenedores más grandes ocupan más espacio y alargan el tiempo necesario para producir un cepellón firme. Por ende, es más costoso producir plantas en contenedores más grandes, y también es más oneroso almacenarlas, enviarlas al sitio de forestación y plantarlas (Buamscha et al., 2012).

Según Ruano (2008), el volumen de cada celda, alveolo o tubete es una de las características importantes a tener en cuenta para el cultivo. Dicho volumen, que en definitiva es la cantidad de sustrato a emplear, debe calcularse debidamente, de forma

que sea el óptimo vital mínimo para la raíz, y no excederse en la cantidad, dado que además de aumentar el costo, se transportarían al monte volúmenes innecesarios.

2.5.1.3. Profundidad

El largo del contenedor es importante porque determina la longitud del sistema radical, lo cual es un factor clave para sitios de plantación secos. La profundidad del contenedor también es significativa porque determina la proporción de sustrato que drena libremente dentro de él. Cuando se aplica agua a un contenedor lleno de sustrato, ésta percola hacia abajo, por acción de la gravedad, hasta llegar al fondo. Allí se detiene por la atracción del medio de crecimiento, creando una zona de saturación que está siempre presente en el fondo de todo contenedor. Dos factores controlan la profundidad de esta capa saturada: la altura del contenedor y el tipo de medio de crecimiento. Con igual sustrato, la profundidad de la zona de saturación es siempre proporcionalmente mayor en los contenedores menos profundos (Buamscha et al., 2012).

2.5.1.4. Orificio de drenaje

Los contenedores deben tener un orificio inferior suficientemente grande para facilitar un buen drenaje y la poda de la raíz por efecto del aire. Las raíces dejan de crecer cuando se ponen en contacto con la capa de aire bajo el contenedor. Algunos contenedores están diseñados estructuralmente para que exista un flujo de aire en la zona inferior, mientras que otros deben ubicarse sobre rejillas o mesas especialmente diseñadas. Por otra parte, el orificio inferior debe ser suficientemente pequeño para evitar una pérdida excesiva de medio de crecimiento durante el proceso de llenado (Buamscha et al., 2012).

2.5.1.5. Poda radicular y sistema antiespiralamiento

Uno de los problemas más serios del cultivo de plántulas en envase es la espiralización radicular, que es la tendencia que tienen las raíces a girar en el interior del contenedor. Las raíces normalmente tienen un desarrollo geotrópico, pero al no encontrar ninguna obstrucción física, entre el sustrato y la pared del envase, tienden a crecer lateralmente alrededor de la pared de éste. Esta espiralización no tiene efectos adversos en el crecimiento dentro del vivero, pero si puede incidir seriamente en el desarrollo de la plántula, después de la plantación. Las raíces, con marcada y viciada inclinación en espiral, al establecerse en el suelo, puede continuarse con dicha forma de crecimiento y, al no profundizar y anclarse al terreno, pueden estar, por consiguiente expuestas a que se vuelque por el viento, a los fuertes hielos o a que haya un estrangulamiento entre ellas mismas que afecte al cuello de la raíz (Ruano, 2008).

El problema de la espiralización de las raíces ha sido en parte resuelto por un diseño en el contenedor, en forma de nervio o reborde vertical de 1,5 a 2 mm de ancho. Dichos nervios interceptan las raíces que comienzan a espiralizarse y las fuerzan a crecer hacia abajo, en dirección al orificio de drenaje, al encontrar más humedad y donde paran su crecimiento (se pinzan o repican), al entrar en contacto con el aire o con la luz (Ruano, 2008).

Varias compañías han desarrollado contenedores que tienen ranuras laterales en las paredes para controlar el espiralamiento y otras deformaciones de las raíces por medio de la poda al ponerse en contacto con el aire. El principio básico que utiliza este tipo de contenedores es simple: las raíces dejan de crecer y se suberizan cuando llegan a una hendidura lateral, tal como sucede con las raíces que llegan al orificio del fondo del contenedor. Los viveros forestales han encontrado dos desventajas en este tipo de contenedores: 1) las raíces pueden crecer desde un contenedor a otro y 2) los plantines en estos contenedores se secan mucho más rápido que en los contenedores con paredes sin ranuras (Buamscha et al., 2012).

2.5.2. Ventajas e inconvenientes del uso de envases

2.5.2.1. Ventajas

Mayor probabilidad de arraigo al no tener mutilaciones el sistema radical; menor exigencia, por tanto, en la preparación del suelo para la repoblación; es el único método posible de cultivo de planta para especies que no resisten el repicado convencional; y permite su empleo alargar la duración de las campañas de plantación en climas de largos inviernos o sequías tempranas, además de ser el único método posible en estaciones sin parada vegetativa (Serrada, 2000).

2.5.2.2. Inconvenientes

Mayor costo de producción, que será del orden de 5 a 10 veces superior al de la planta a raíz desnuda para igual especie y edad; mayor peso y volumen que la planta a raíz desnuda, lo que complica el embalaje y el transporte; riesgos, según los tipos de envase, de obtener sistemas radicales de tamaño inferior o con retorcimientos de la raíz principal (espiralización); y mayor dificultad de micorrización de la planta al usarse frecuentemente sustratos estériles (Serrada, 2000).

2.5.3 Tipos de envases

De acuerdo a Serrada (2000), los envases empleados en la actualidad se pueden clasificar en no recuperables y recuperables, los envases no recuperables se destruyen en el proceso de cultivo o de plantación, los recuperables no se destruyen en el proceso de cultivo o plantación y pueden ser empleados, previa desinfección, en más de una o varias campañas.

Buamscha et al. (2012), mencionan los siguientes envases usados una sola vez en el proceso de producción:

2.5.3.1. Bolsas de polietileno

Las bolsas hechas de polietileno negro son los contenedores más utilizados en los viveros de todo el mundo porque son baratas y fáciles de transportar y almacenar. Desafortunadamente, en general producen plantines con sistemas radicales poco formados que se espiralan en el contorno de las paredes lisas y en el fondo. Este problema empeora cuando los plantines no son trasplantados en la temporada y se mantienen en el contenedor. Ahora también se consiguen bolsas de polietileno recubiertas con cobre, las cuales, en comparación con las comunes, producen sistemas radicales mejores y más fibrosos, bien distribuidos dentro del envase (Buamscha et al., 2012).

2.5.3.2. Macetas redondas

Las macetas redondas de plástico negro o de lata son los contenedores más usados para producir plantas ornamentales en vivero. Se las consigue en muchos tamaños y son producidas por numerosos fabricantes. Una característica atractiva es que algunas son reciclables. Las macetas redondas se utilizan en algunos viveros de plantas nativas, especialmente para paisajismo. Son muy durables y pueden reutilizarse durante muchos años y ocupan poco espacio de almacenamiento porque pueden apilarse. Casi todos los modelos tienen un borde engrosado, que las hace fácil de mover o manejar, aun cuando están mojadas. La deformación de las raíces ha sido un problema serio de estos envases, por lo que hoy en día algunos modelos incorporan costillas internas y revestimiento de cobre para evitar el espiralamiento (Buamscha et al., 2012).

Serrada (2000), Buamscha et al. (2012), mencionan envases plantado junto con la planta con propiedades biodegradables.

2.5.3.3. Jiffy pellets

Los envases jiffy pellets son un sistema muy particular y consisten en un sustrato de turba comprimido dentro de una malla fina biodegradable con forma de bolsa. Al sembrar la semilla y regarla, la turba se expande hasta convertirse en un plug cilíndrico rodeado por la malla dentro del cual se desarrollara el sistema radical. Los de mayor tamaño permiten el desarrollo completo de la planta y posteriormente se llevan directamente al campo. Las capsulas forestales Jiffy pellets más pequeñas se utilizan para iniciar plantas que luego se trasplantan a envases más grandes o a canteros en tierra (sistema mixto). Este sistema es ideal para especies que germinan muy lentamente o a lo largo de un período largo de tiempo (Buamscha et al., 2012).

2.5.3.4. Paper-pot

Son envases formados por rectángulos de papel pegados con cola permanente en forma de cilindro, que a su vez se pegan unos a otros con cola hidrosoluble y que se presentan vacíos y plegados como un acordeón. Para su llenado con un sustrato adecuado, generalmente turba, se extienden en bandejas con fondo en rejilla que impide la caída del sustrato y posibilita que la raíz principal detenga su crecimiento al llegar al fondo por causa de la luz, produciéndose un fenómeno de autorepicado. Tras la siembra en los cilindros, se producen los riegos que independizan cada uno de los envases. La poca consistencia del papel permite la plantación con envase, aunque no es conveniente (es mejor quitar el papel al hacer la plantación, pues se ha comprobado la persistencia del mismo hasta 17 años después de plantar) (Serrada, 2000).

De acuerdo a Buamscha et al. (2012), los envases que se usan varias veces son los siguientes.

2.5.3.5. Celdas individuales sostenidas por un portacontenedores

Las celdas individuales o tubetes están insertas en una estructura o armazón rígida que las sostiene, siendo su principal ventaja la posibilidad de intercambiarlas. Después de la germinación, se pueden sacar las celdas vacías y remplazarlas por otras con plantas. Este proceso permite un uso eficiente del espacio en el vivero. En el caso de plantas nativas que germinan a lo largo de un extenso período, se pueden reagrupar por tamaño y cultivarse bajo distintos programas de fertilización y riego. Otra ventaja es que las celdas pueden espaciarse, práctica que es ideal para plantas de hojas grandes y también para promover una buena circulación de aire en la estación en que pueden ser problemáticas las enfermedades foliares. Los portacontenedores están diseñados para dejar suficiente espacio de aire por debajo de los contenedores para asegurar una buena poda de las raíces. Las celdas plásticas pueden reutilizarse por varias temporadas. Como

ejemplo, de este tipo de contenedores, se pueden mencionar los ray leach cone-tainers, los deepots, y los zipset plant bands. Se diferencian entre sí por su forma, volumen, el material con el que se fabrican y el sistema de soporte. Un caso especial de contenedores individuales son los spencer – lemaire rootrainers con forma de libro, de paredes flexibles, que se pueden abrir para examinar el sustrato y el sistema radical (Buamscha et al., 2012).

2.5.3.6. Bandejas / bloques de muchas cavidades o celdas

Las bandejas o bloques consisten en una estructura rígida, generalmente rectangular, que contienen un número variable de cavidades, las cuales están fijas sin posibilidad de intercambiarse. Son muy populares tanto para producir plantas nativas como exóticas, y el volumen de sus celdas es muy variable (Buamscha et al., 2012).

2.5.3.7. Bloques de poliestireno expandido

Estos contenedores han sido utilizados para cultivar especies de pastos nativos, arbustos leñosos y árboles. Son relativamente livianos y durables; toleran bien el traslado y pueden reutilizarse durante 3 a 5 años o aún más. Además el poliestireno expandido por ser un material con buena aislación protege a las raíces de daño por frío y el color blanco refleja la luz del sol, manteniendo el sustrato fresco. Una importante desventaja es que las plantas no pueden separarse ni reordenarse, de forma que las cavidades vacías y las plantas raleadas reducen la eficiencia en el uso del espacio. Además las especies con raíces vigorosas pueden penetrar las paredes internas de las cavidades (especialmente en bloques viejos reutilizados varias veces), haciendo difícil extraer los cepellones (Buamscha et al., 2012).

2.6. SUSTRATOS

A causa de los problemas con el suelo natural en los contenedores, los productores comenzaron a complementar al suelo con otros materiales para desarrollar una mezcla que pudiera ser adecuada para el cultivo en contenedor (Landis, 1990).

La primera búsqueda sistemática para encontrar un medio de crecimiento uniforme y estandarizado, comenzó en Inglaterra en los años treinta, cuando el instituto hortícola John Innes desarrolló una composta basada en tierra de cultivo, complementada con turba de musgo, arena y fertilizantes (Bunt, citado por Landis, 1990).

Cuando la gente inicialmente comenzó a cultivar plantas en contenedor, utilizó suelo de campo ordinario, pero pronto encontró que tal práctica daba lugar a problemas de cultivo. El simple hecho de poner suelo en un contenedor, produce condiciones hortícolas que son diferentes de aquellas que se dan con suelo de campo no restringido a un contenedor (Landis, 1990).

Las plantas que crecen en contenedor tienen acceso a una cantidad muy limitada de sustrato, en comparación con las plantas que son cultivadas en campo (Swanson, citado por Landis, 1990). Las plantas de especies forestales, en particular, son cultivadas en contenedores de muy poco volumen, con un intervalo de 40 a más de 700 cm³ (2.5 a 45 pulgadas cúbicas). Tan limitado volumen para la raíz, deriva en que las plantas tienen pocas reservas de agua disponible y de nutrientes, además de que la disponibilidad de tales recursos esenciales puede cambiar rápidamente (Van Eerden, citado por Landis, 1990).

2.6.1. Funciones del sustrato

Las plantas cultivadas en envase tienen ciertos requerimientos funcionales para su desarrollo, que debe ser aportados por el sustrato o a través del mismo (Ruano, 2008).

Las plantas requieren continuamente agua para su crecimiento y para otros procesos fisiológicos como la transpiración, dicha agua debe ser aportada por el medio de crecimiento en que se encuentran. Dado el limitado volumen de los envases, el sustrato debe tener una alta capacidad de absorción y retención hídrica, para aportar el agua que necesita el plantín, entre un riego y el siguiente (Ruano, 2008).

Las raíces de las plantas consisten en tejidos vivos y gastan energía para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes minerales de la solución del medio. La energía para estos procesos fisiológicos es generada por la respiración aeróbica que requiere una cantidad establecida de oxígeno. El subproducto de esta respiración es el bióxido de carbono, que puede ser acumulado hasta niveles tóxicos si no es dispersado en la atmósfera. Por ello, el sustrato debe ser lo suficientemente poroso para facilitar un eficiente intercambio de oxígeno y bióxido de carbono. A causa de que el oxígeno se difunde a través del agua a solamente 1/10,000 de la velocidad a la que lo hace en el aire, este intercambio gaseoso debe tener lugar en los grandes poros llenos de aire del medio de crecimiento. Estos grandes poros están directamente relacionados con el tamaño de las partículas, su arreglo, y la compactación del medio de crecimiento (Landis, 1990).

Con excepción del carbono, hidrógeno y oxígeno, las plantas deben obtener todos los 13 nutrientes minerales esenciales de la solución del medio de crecimiento. Muchos nutrientes minerales, incluyendo la forma amoniacal del nitrógeno (NH₄⁺), el

potasio (K^+), el magnesio (Mg^{2+}) y el calcio (Ca^{2+}), existen en la solución del medio de crecimiento como cationes eléctricamente cargados. Estos nutrientes iones se mantienen en la solución del medio hasta que las raíces de las plantas los toman y utilizan para el crecimiento y mantenimiento de los tejidos o, a causa de su carga eléctrica positiva, comienzan a ser adsorbidos por los sitios cargados negativamente en ciertos tipos de partículas del sustrato. Esta oferta de nutrientes adsorbidos, que es medida por la capacidad de intercambio catiónico (CIC), proporciona un reservorio de nutrientes minerales para mantener el crecimiento de la planta, entre aplicaciones de fertilizante (Landis, 1990).

La última función del medio de crecimiento es anclar a la planta en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato (Landis, 1990).

2.6.2. Características de los sustratos

Las características culturales de un medio de crecimiento, son las propiedades que afectan su capacidad para producir consistentemente cultivos de plantas saludables, bajo las prácticas de cultivo en un vivero forestal que produce en contenedor: pH ligeramente ácido, elevada capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada y una condición libre de plagas y enfermedades (Landis, 1990).

2.6.2.1. pH ligeramente ácido

El pH final de un sustrato dependerá de la proporción en que entran en la mezcla sus componentes, del pH original de cada uno, y de las formas de cultivo que se practiquen, especialmente en la fertilización y el riego (Ruano, 2008).

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son alcalinos. Los materiales utilizados para formular medios de crecimiento difieren considerablemente en pH (Landis, 1990).

El principal efecto del pH en un suelo mineral es su influencia en la disponibilidad de los nutrientes minerales, especialmente en los micronutrientes. Muchos nutrientes minerales pueden ser inaccesibles a las raíces o a veces tóxicos, con pH extremos (Ruano, 2008).

El pH puede afectar a diversos tipos de microorganismos del sustrato, incluyendo a los hongos patógenos. *Fusarium ssp.* es más virulento en condiciones

neutras o alcalinas y las pérdidas de las plantas por los hongos del grupo damping-off se incrementan con valores de pH por encima del 5,9 (Ruano, 2008).

La comparación del efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes minerales en suelos minerales y orgánicos (como son muchos medios de crecimiento), muestra que el máximo de disponibilidad para suelos orgánicos está una unidad entera por debajo (pH 5.5) de los suelos minerales (pH 6.5). El control del pH es menos crítico en los viveros que utilizan contenedores, donde todos los nutrientes esenciales pueden ser proporcionados a través de la fertilización (Landis, 1990).

Por tanto, sobre una base operativa, los viveristas forestales que producen en contenedor, deben tratar de mantener el pH de sus medios de crecimiento dentro del intervalo de 5.5, ligeramente ácido, a 6.5 (Landis, 1990).

2.6.2.2. Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de un material para adsorber iones cargados positivamente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), es uno de los factores más importantes que afectan la fertilidad del medio de crecimiento. La CIC puede ser definida como la suma de los cationes intercambiables, medidos en unidades llamadas miliequivalentes (meq.), que un material puede adsorber por unidad de peso o volumen (tanto mayor el número, mayor la capacidad para retener nutrientes) (Landis, 1990). Los cationes primarios involucrados en la nutrición de la planta son: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}) y amonio (NH_4^{+}), enlistados en orden de retención decreciente en los sitios CIC (Bunt, citado por Landis, 1990). Muchos iones micronutrientes son también adsorbidos, incluyendo el hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}), manganeso (Mn^{2+}), Zinc (Zn^{2+}) y cobre (Cu^{2+}). Estos nutrientes están almacenados en los sitios de CIC, en las partículas del medio de crecimiento, hasta que son tomados por el sistema radical (Landis, 1990).

En consecuencia una alta CIC es lo deseable en un sustrato, porque mantiene una reserva de fertilidad que nutre las plantas entre cada fertilización (Ruano, 2008).

Muchos cationes son lixiviados debido a los frecuentes riegos a que son sometidos los plantines en los viveros. Ciertos componentes de los sustratos resisten mejor a la lixiviación que otros, por lo que, en general, podemos decir que el valor más alto para la CIC de un sustrato, es el que presenta mayor resistencia a la lixiviación (Ruano, 2008).

2.6.2.3. Baja fertilidad intrínseca

Aunque en principio parezca un contrasentido, es deseable una baja fertilidad inicial del sustrato. Si se mantienen valores altos de nutrientes minerales, principalmente nitrógeno, durante la germinación y la emergencia del tallo, puede llegar a ser un hábito imprudente, dada la posibilidad de estimular a los hongos tipo damping-off. De hecho, muchas especies de semillas no requieren ninguna fertilización durante las primeras semanas, a excepción quizá, del fósforo. El beneficio mayor de una baja fertilidad inicial es que el viverista puede conocer y controlar las concentraciones de nutrientes en el sustrato a través de sus formulaciones y fertilizaciones (Ruano, 2008).

2.6.2.4. Adecuado equilibrio del tamaño de los poros

Una equilibrada estructura de poros proporciona un buen intercambio gaseoso por el sistema radical, lo cual afecta directamente a todas las funciones de las raíces como la absorción de agua y la de nutrientes minerales. La porosidad está considerada como la propiedad física más importante de un sustrato (Ruano, 2008).

El medio de cultivo, está constituido por partículas sólidas y por espacios o poros existentes entre ellos. La cantidad de poros se expresa en términos de porcentaje de porosidad y es una función del tamaño, forma y disposición espacial de las partículas individuales del sustrato en el envase. La porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de las partículas del sustrato (Ruano, 2008).

La porosidad total es una medida del total de espacios porosos de un sustrato, expresada como el porcentaje del volumen que no está ocupado por partículas sólidas. Por ejemplo: 1,000 ml de medio de crecimiento con una porosidad total de 40%, tienen 400 ml de poros y 600 ml de partículas sólidas. La porosidad de aireación es la medida de la parte del total de espacios porosos que están ocupados con aire luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita su libre drenaje. Los poros que contienen aire, son relativamente grandes y son denominados macroporos. La porosidad de retención de humedad es la medida de la parte del total de espacio poroso que se mantiene llena de agua, luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita el libre drenaje de ésta. Los poros que contienen agua son relativamente pequeños y son denominados microporos (Landis, 1990).

La relación de microporos y macroporos varía considerablemente entre diferentes mezclas de sustratos, y por tanto, las características de porosidad de un medio

de cultivo, no pueden ser prefijadas a partir de la porosidad que tiene de forma individual cada uno de los componentes (Ruano, 2008).

2.6.3. Componentes más usados en la formulación de sustratos

Los componentes más usados en los viveros forestales se pueden clasificar en dos grandes grupos: componentes orgánicos y componentes inorgánicos, aunque otros autores como Abad, citado por Ruano (2008), los clasifican según su actividad química en: químicamente inertes (arena, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.), y químicamente activos (turba, corteza de pino triturada, vermiculita, aserrín, etc.) (Ruano, 2008).

2.6.3.1. Componentes orgánicos

Los materiales orgánicos son componentes deseables de los sustratos, pues generan una gran proporción de microporos, produciendo así una elevada capacidad de retención de humedad, además son lo suficientemente resilientes para resistir la compactación. La materia orgánica también tiene una elevada CIC, y por lo tanto, retiene iones nutrientes previniendo su lixiviación y, proporcionando un amortiguamiento contra los cambios rápidos en salinidad (Landis, 1990).

La proporción de materiales orgánicos suele ser variable, según el gusto o necesidad del viverista, pero normalmente llega, en general, al 60% (Ruano, 2008).

De acuerdo a Landis (1990), la turba de musgo es la más comúnmente usada como materia orgánica en los viveros forestales.

Las turbas son formadas cuando plantas parcialmente descompuestas se acumulan bajo el agua en áreas con bajas temperaturas, bajos niveles de oxígeno y nutrientes (Peck, citado por Landis, 1990). Las turbas pueden estar compuestas de varias especies de plantas, incluyendo musgos, juncos y pastos. La especie de planta, su grado de descomposición, la variación entre climas locales y la calidad del agua, contribuyen a imprimir diferencias en la calidad de las turbas y determinan su valor como un componente del medio de crecimiento (Mastalerz, citado por Landis, 1990).

Hay diferentes métodos para clasificar las turbas, pero el más moderno consiste en el análisis por infrarrojos, con el cual se puede determinar su composición botánica, grado de humificación, capacidad de intercambio catiónico, contenido de nitrógeno, así como otras propiedades físicas o químicas (Ruano, 2008).

La turba del musgo *Sphagnum* es la que por sus características físico-químicas presenta una mayor calidad como componente de los sustratos y por tanto la más cotizada y popular entre los viveristas. La clasificación requiere un 90% de materia orgánica en peso seco, con un 75% como mínimo de esta materia de musgo del género *Sphagnum* (Ruano, 2008).

Hay aproximadamente 335 especies de musgos de este género en el mundo (Puustjarvi, citado por Landis, 1990). Peck, citado por Landis (1990), clasifica en dos los distintos tipos de turba de musgo *Sphagnum*: turbas claras (o turbas ligeras) y turbas oscuras. Las turbas ligeras de *Sphagnum*, son llamadas así por su color claro y por su ligereza en peso (Landis, 1990).

Las turbas oscuras de *Sphagnum*, son el doble de pesadas que las turbas ligeras, y contienen un total de espacio poroso menor, con su correspondiente menor porosidad de aireación. La CIC de las turbas oscuras es aproximadamente el doble de la de las turbas ligeras de *Sphagnum* (Landis, 1990). Peck, citado por Landis (1990), considera a las turbas oscuras como menos convenientes para el cultivo de plantas en contenedor a largo plazo, ya que son menos durables y menos resilientes que las turbas de colores claros o ligeras.

En las mezclas para obtener sustratos, también son usados muy a menudo aserrines y virutas de madera, cortezas, hojas y acículas, tierra de castaño, corcho, paja, restos de compost de champiñones, restos de poda, caña de azúcar y regaliz, estiércol, gallinaza, orujo de aceituna, cascarilla de arroz, lodos de aguas residuales urbanas, plantas marinas (*Posidonia oceanica*), etc. Estos materiales orgánicos, potencialmente pueden ser sustituidores de las turbas, sobre todo en zonas de clima cálidos, dado el alto precio que pueden adquirir dichas turbas *Sphagnum* por los largos trayectos de transporte (Ruano, 2008).

La corteza de pino tiene excelentes cualidades para mezclar en los sustratos, ya que es naturalmente ácida, tiene una baja fertilidad inicial, aumenta considerablemente la porosidad, conductividad eléctrica baja, una CIC muy aceptable y tiene buen precio y disponibilidad en el mercado actual (Ruano, 2008).

A causa de su elevada relación carbono: nitrógeno (C/N), los residuos de madera deben ser composteados con correctores que provean nitrógeno suplementario, antes de ser utilizados. La corteza fresca puede tener una proporción C/N de 300:1, por lo que es frecuentemente composteada antes de ser utilizada. Los materiales orgánicos varían considerablemente en sus tasas de descomposición, así como en la cantidad de nitrógeno requerida durante el composteo, aún para un mismo género de árbol (Landis, 1990).

2.6.3.2. Componentes inorgánicos de los sustratos

Los materiales inorgánicos son agregados a los sustratos para producir y mantener un sistema estructural de macroporos, que promueva la aireación y el drenaje, y que disminuya la capacidad de retención de humedad (Mastalerz, citado por Landis, 1990). Muchos componentes inorgánicos poseen una CIC muy baja y proveen una base químicamente inerte para el medio de crecimiento. Los materiales inorgánicos con elevadas densidades, como la arena, son usados para proveer estabilidad a los contenedores grandes e individuales de los viveros ornamentales (Landis, 1990).

Según Ruano (2008) existen tres materiales que principalmente se usan en la mezcla de los sustratos; por orden de uso: vermiculita, perlita y arena.

La vermiculita es un mineral formado por silicatos de aluminio, hierro y magnesio, y consiste en su estado natural, en una serie de placas paralelas delgadas. Antes de su uso se le somete al mineral a una temperatura de 1000 °C con lo que se expande la vermiculita en partículas 15 o 20 veces más grande que su tamaño original y dan una estructura con aspecto de acordeón (Ruano, 2008).

De acuerdo a Landis (1990), la vermiculita tiene muchas propiedades únicas que la hacen muy útil para medio de crecimiento: es ligera en peso y su estructura en placas genera una elevada proporción superficie/volumen, produciéndose con esto una gran capacidad de retención de humedad. Las placas contienen numerosos sitios para retener cationes, tanto externa como internamente, lo que produce una elevada CIC; tal propiedad es única para los componentes de medios de crecimiento inorgánicos, que son típicamente inertes. Bunt, citado por Landis (1990), reporta que, aunque la vermiculita aparentemente no tiene capacidad de intercambio aniónico, ésta puede adsorber fosfato en formas disponibles. La vermiculita contiene algo de potasio y de magnesio, los cuales son lentamente liberados para ser aprovechados por la planta. Debido a las elevadas temperaturas involucradas en su procesamiento, la vermiculita es estéril por completo. El pH de la vermiculita es variable, si bien normalmente se encuentra dentro de un intervalo neutral (pH de 7.0), muy alto para muchas especies de coníferas. Pero esto no representa problema alguno, pues la vermiculita normalmente es mezclada con materiales orgánicos más ácidos, como la turba de musgo *Sphagnum* (Biamonte y Mastalerz, citados por Landis, 1990).

La perlita es un mineral de silicato de aluminio de origen volcánico que se encuentra en diferentes países y que después de su extracción, es comprimido y expuesto a altas temperaturas por encima de los 1000 °C, formándose unas partículas blancas muy ligeras (Ruano, 2008).

La perlita posee muchas características útiles que la hacen deseable como medio de crecimiento. Una de tales propiedades únicas es su estructura de celdas bien

cerradas: el agua se adhiere sólo en la superficie de las partículas de perlita, y por tanto el sustrato que contenga perlita tendrá buen drenaje, además de ser ligero en peso. La perlita es también rígida y no se comprime con facilidad, lo cual promueve una buena porosidad. Comparada con otros dos componentes inorgánicos como la arena y las piedrecillas, la perlita aumenta la porosidad de aireación de un sustrato basado en turba (Ward et al., citados por Landis, 1990). Debido a las elevadas temperaturas a que es sometida durante su procesamiento, la perlita es completamente estéril. La perlita esencialmente es infértil, casi no contiene nutrientes para las plantas, y tiene una CIC mínima (Bunt y Moore, citados por Landis, 1990). El pH de la perlita está en un intervalo alrededor de la neutralidad, lo cual no es significativo porque ésta normalmente es mezclada con un producto ácido, la turba de musgo *Sphagnum* (Nelson, citado por Landis, 1990).

En cuanto a otros materiales inorgánicos que se usan en los viveros, se menciona: arena, piedra pómez, escorias, cenizas, arcillas a altas temperaturas, lana de roca, copos o escamas de poliestireno y partículas de espuma. El uso de uno u otro material depende de su coste y disponibilidad, siendo especialmente interesante cuando exista cerca del vivero alguna fábrica que produzca estos tipos de residuos (Ruano, 2008).

2.7. CALIDAD DE PLANTA EN VIVEROS FORESTALES

El éxito de los programas de reforestación depende principalmente de la calidad de la planta que se produce en los viveros, la cual puede asegurar una mayor probabilidad de supervivencia y desarrollo cuando llegan a establecerse en el lugar definitivo (Mas, citado por Sáenz et al., 2010). La calidad de planta se define como la capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto et al., citados por Sáenz et al., 2010). Otra definición es la que reúne las características morfológicas y fisiológicas necesarias para sobrevivir y crecer, en las condiciones ambientales en las que será plantada (Ramírez y Rodríguez, citados por Sáenz et al., 2010).

El empleo de planta de calidad, asegura en mayor medida el éxito de las plantaciones o reforestaciones, dicha calidad viene definida a través de una serie de parámetros morfológicos y fisiológicos que tratan de caracterizar a la planta en el momento de su establecimiento y que permitirán un seguimiento más controlado de su comportamiento en el campo (Pardos y Montero, citados por Sáenz et al., 2010). Para lograr plantas con mejores características morfológicas y fisiológicas es necesario el desarrollo de técnicas culturales desde el vivero, el tipo de sustrato, el contenedor a

utilizar, la calidad de la semilla, el régimen de nutrición y el manejo adecuado del agua de riego, son los elementos principales para obtener planta de alta calidad y a un precio razonable. El hecho de contar con plantas resistentes al estrés por las condiciones edáficas y climáticas del sitio de plantación, con buena capacidad fotosintética y que disponga de reservas que le permitan iniciar con vigor su crecimiento en el campo, propiciaría el fomento de bosques con calidad (Leyva, citado por Sáenz et al., 2010).

La clasificación de calidad de planta se realiza en base a variables morfológicas y fisiológicas; entre las primeras se incluyen: la altura de la planta, el diámetro del tallo o de collar, tamaño, forma y volumen del sistema radical, la relación altura/diámetro de collar, la relación tallo/raíz, la presencia de yema terminal y micorrizas, el color del follaje y la sanidad, el peso seco de los tallos, follaje y raíz. En los atributos fisiológicos se consideran: resistencia al frío, días para que la yema principal inicie su crecimiento, índice de mitosis, potencial hídrico, contenido nutricional y de carbohidratos, tolerancia a sequía, fotosíntesis neta, micorrización y capacidad de emisión de nuevas raíces (Prieto et al., citados por Sáenz et al., 2010).

2.7.1. Características morfológicas

Sáenz et al. (2010), hacen referencia a la morfología como la manifestación física de las plantas y generalmente los principales atributos físicos son:

2.7.1.1. Altura

Es un buen predictor de la altura futura en campo, pero no para la supervivencia; este parámetro se ha utilizado por mucho tiempo como un indicador de la calidad, aunque se considera insuficiente y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real (Mexal y Landis, citados por Sáenz et al., 2010). Es fácil de medir pero no es muy informativa por sí sola, ofrece sólo una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante e ignora la arquitectura del tallo (Birchler et al., citados por Sáenz et al., 2010). La altura puede ser manipulada en vivero a través de la fertilización y el riego. Correlacionar sólo la altura de la planta con el comportamiento en campo, excluyendo otros parámetros, puede inducir a un error; varios estudios han concluido que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura después de la plantación (Cortina et al., citados por Sáenz et al., 2010).

De acuerdo a Buamscha et al. (2012) suele haber una baja correlación entre la altura de un plantín y su supervivencia, excepto bajo condiciones estresantes en el sitio

de plantación, en donde la correlación es negativa. Cuando las condiciones son favorables, la altura no se relaciona con la supervivencia, pero plantines altos pueden tener una supervivencia reducida cuando las condiciones son desfavorables. McTague y Tinus, citados por Buamscha et al. (2012) hallaron que los plantines altos (30 cm) de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) tienen menos supervivencia que plantines más bajos (16,5 cm), especialmente en condiciones de estrés (días con baja humedad). Rikala, citado por Buamscha et al. (2012) reportó que plantines demasiado altos, debido a que crecieron a alta densidad en vivero, tuvieron una reducida supervivencia y, de hecho, los criterios de raleo se basan en la altura más que en el diámetro.

A pesar del efecto deletéreo de los sitios difíciles en los plantines altos, la altura del plantín suele estar correlacionada con el crecimiento en altura luego de su establecimiento en el sitio de plantación. En un trabajo realizado por Mexal y Landis, citados por Buamscha et al. (2012) hallaron que existe una correlación entre la altura inicial del plantín y el crecimiento hasta los 15 años en pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), *Picea abies* y pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Por lo tanto, donde las condiciones de sitio son adecuadas, la altura del plantín, si bien no tiene efecto sobre la supervivencia, podría correlacionarse con el crecimiento a largo plazo (Buamscha et al., 2012).

2.7.1.2. Diámetro del cuello de la raíz

Es la característica de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo; define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación. Plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque esto varía de acuerdo a la especie (Prieto et al., citados por Sáenz et al., 2010).

El diámetro de un plantín se mide tradicionalmente a nivel del cuello, donde hay un cambio de color notable entre los tejidos aéreos y radicales. Ocasionalmente las medidas se toman en la cicatriz de los cotiledones, 10 mm más debajo de esta, o a nivel de la superficie del medio de crecimiento (Colombo et al., citados por Buamscha et al., 2012).

El diámetro es fácil de medir y da una aproximación de la sección transversal del transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo. El diámetro está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y puede verse afectado por prácticas culturales como el repicado apical y también se puede mejorar a través de un aumento en la velocidad y la uniformidad en la germinación (Boyer y South, citados por Sáenz et al., 2010). El diámetro es una medida de la robustez de la planta y se ha considerado como el mejor

predictor individual del crecimiento y la supervivencia en campo (Cleary et al., Thompson, citados por Sáenz et al., 2010).

En general, a medida que aumenta el diámetro del cuello del plantín, aumenta la supervivencia en plantación. Sin embargo, bajo circunstancias inusuales, si los plantines se mantienen demasiado tiempo en el envase, tendrán grandes diámetros pero con raíces muy compactadas y enredadas (South et al., citados por Buamscha et al., 2012).

El diámetro no solo predice la supervivencia y el crecimiento durante el primer año; también está correlacionado con el crecimiento durante toda la vida de la plantación (Buamscha et al., 2012). Resultados a largo plazo de ensayos con plantines de *Pinus taeda* a raíz desnuda (South et al., citados por Buamscha et al., 2012) indican que el diámetro de los plantines predicen el volumen individual de los árboles después de 30 años. McClaron, citado por Buamscha et al. (2012) incluso encontró que el diámetro de los plantines de *Picea glauca* en envase podía predecir la altura de los árboles a los 20 años. Todo esto indica, entonces, que el diámetro inicial del plantín en envase puede ser un buen predictor de su desempeño en la plantación: su supervivencia, crecimiento en altura y la producción en volumen a largo plazo (Buamscha et al., 2012).

2.7.1.3. Tamaño del sistema radical

Entre más grande sea el sistema radical de la planta, tendrá más puntos de crecimiento y mayor posibilidad de explorar el suelo para captar agua y nutrientes; además, incrementará la probabilidad de infección micorrícica (González, citado por Sáenz et al., 2010). En las raíces finas es donde se concreta la actividad de absorción de agua y nutrimentos al ser más activas y permeables, frente a las gruesas, cuya misión se concreta fundamentalmente en el anclaje de las plantas (Thompson, citado por Sáenz et al., 2010).

2.7.1.4. Peso de la planta

El peso (biomasa aérea y radical) de la planta tiene alta correlación con la supervivencia en campo, con la misma consistencia que el diámetro del tallo o cuello de la raíz. También, el diámetro está fuertemente correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radical. El peso seco es un indicador efectivo cuando se relaciona el peso seco de la parte aérea con el peso seco del sistema radical (Thompson et al., citados por Sáenz et al., 2010).

2.8. INTERACCIÓN DE VARIABLES: ÍNDICE DE ROBUSTEZ

Es la relación entre la altura del brinjal (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm). Debe ser menor a seis y es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos. El menor valor indica que se trata de arbolitos más bajos y gruesos, aptos para sitios con limitación de humedad, ya que valores superiores a seis los dispone a los daños por viento, sequía y helada (Rodríguez, citado por Sáenz et al., 2010). Asimismo, valores más bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indica que es más robusta y con tallo vigoroso; en cambio valores altos indican una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados (Prieto et al., citados por Sáenz et al., 2010).

Según Genere y Garriou, citados por Buamscha et al. (2012) la relación entre altura (mm) y diámetro del cuello (mm) (A:D), frecuentemente llamada coeficiente de robustez es de suma importancia. Los plantines con bajos coeficientes (A:D = 58) muestran alta supervivencia y buen crecimiento cualquiera sea el ambiente de plantación. Sin embargo los plantines con coeficientes altos (A:D = 98) muestran supervivencia variable y un pobre crecimiento en ambientes rigurosos (Buamscha et al., 2012).

La morfología del plantín en contenedor puede tener un importante efecto sobre su desempeño en plantación. Los atributos morfológicos que mejor estiman la calidad de los plantines son el diámetro del cuello y la altura (D'Aoust et al., citados Buamscha et al., 2012). Como sucede en los programas de forestación con plantines a raíz desnuda, el diámetro del cuello de un plantín en envase es el mejor predictor de supervivencia. La altura de los plantines suele no tener relación con la supervivencia cuando las condiciones del sitio son buenas. Sin embargo, los plantines altos pueden tener menor supervivencia en sitios rigurosos. Las prácticas de manejo que reducen el crecimiento en altura (leve estrés hídrico, poda aérea) pueden minimizar este riesgo. El diámetro del cuello y la altura están correlacionados con la altura y el crecimiento en volumen a largo plazo. En consecuencia, el desempeño a largo plazo de una plantación depende de la calidad de los plantines en el momento del establecimiento (Buamscha et al., 2012).

2.9. EL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que lleven a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico del diseño experimental es

necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos. Cuando el problema incluye datos que están sujetos a errores experimentales, la metodología estadística es el único enfoque objetivo de análisis. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos. Estos dos aspectos se encuentran íntimamente relacionados porque el método de análisis depende directamente del diseño empleado (Montgomery, 2004).

Los tres principios básicos del diseño experimental son la realización de réplicas, la aleatorización y la formación de bloques. Por realización de réplicas se entiende la repetición del experimento básico. La realización de réplicas posee dos propiedades importantes, primera, permite al experimentador obtener una estimación del error experimental. Esta estimación del error se convierte en una unidad de medición básica para determinar si las diferencias observadas en los datos son en realidad estadísticamente diferentes. Segunda, si se usa la media muestral para estimar el efecto de un factor en el experimento, la realización de réplicas permite al experimentador obtener una estimación más precisa de este factor. La aleatorización es la piedra angular en la que se fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño experimental. Por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizarán las corridas o ensayos individuales del experimento se determinan al azar. Uno de los requisitos de los métodos estadísticos es que las observaciones (o los errores) sean variables aleatorias con distribuciones independientes. La aleatorización hace por lo general que este supuesto sea válido. La aleatorización correcta del experimento ayuda también a sacar del promedio los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes. La formación de bloques es una técnica de diseño que se utiliza para mejorar la precisión de las comparaciones que se hacen entre los factores de interés. Muchas veces la formación de bloques se emplea para reducir o eliminar la variabilidad transmitida por factores perturbadores; es decir, aquellos factores que pueden influir en la respuesta experimental pero en los que no hay un interés específico (Montgomery, 2004).

2.9.1. Diseño en bloques completos al azar (DBCA)

Cuando la fuente de variabilidad perturbadora es conocida y controlable, puede usarse una técnica de diseño llamada formación de bloques para eliminar de manera sistemática su efecto sobre las comparaciones estadísticas entre los tratamientos. Supóngase que se tienen, en general, α tratamientos y \mathfrak{b} bloques. Hay una observación por tratamiento en cada bloque, y el orden en que se corren los tratamientos dentro de cada bloque se determina al azar. Debido a que la única aleatorización de los tratamientos se hace dentro de los bloques, con frecuencia se dice que los bloques representan una restricción sobre la aleatorización (Montgomery, 2004).

Según Castejón (2011), el objetivo del diseño en bloques completamente al azar es maximizar las diferencias entre bloques y minimizar la variación dentro de bloques.

2.9.1.1. Ventajas del DBCA

Elimina una fuente de variación del error, aumentando de esta forma la precisión del ensayo. Permite una gran flexibilidad en la relación tratamiento bloque, siempre y cuando se reserven un número igual (o un múltiplo) de tratamientos por unidad experimental. La pérdida de información por bloque o tratamiento no dificulta el análisis estadístico. Permite aplicar el principio de confusión al hacer coincidir los bloques con las variables que influyen sobre la respuesta pero que no son de interés para el investigador (Castejón, 2011).

2.9.1.2. Desventajas del DBCA

No es apropiado para un número elevado de tratamientos (se recomienda entre 6 y 24 tratamientos). No es aconsejable cuando exista una gran variación (en más de una variable) en el material experimental. Si el efecto de bloque no es significativo se trabaja innecesariamente con disminución de los grados de libertad para el error y la consecuente disminución de la precisión. Si resulta una interacción entre bloque y tratamiento, se invalida la prueba F (Castejón, 2011).

2.9.2. Diseño factorial

En muchos experimentos interviene el estudio de los efectos de dos o más factores. En general, los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos. Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. Por ejemplo, si el factor A tiene a niveles y el factor B tiene b niveles, cada réplica contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. Cuando los factores están incluidos en un diseño factorial, es común decir que están cruzados (Montgomery, 2004). A continuación se presenta el modelo estadístico asociado a un diseño factorial en bloques:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_k + (AB)_{ik} + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

i: 1,2...a

k: 1,2...b

j: 1,2....r

Siendo:

Y_{ijk} : respuesta en el j – ésimo bloque con el i – ésimo nivel del factor A y el k – ésimo nivel del factor B.

μ : media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos

A_i : efecto del i – ésimo nivel del factor A

B_k : efecto del k – ésimo nivel del factor B

$(AB)_{ik}$: efecto de la interacción entre el i – ésimo nivel de A y el k – ésimo nivel de B

β_j : efecto del j – ésimo bloque

ε_{ijk} : error en la j – ésima repetición con el i – ésimo nivel de A y el k – ésimo nivel de

$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ para todo i, j, k

2.9.2.1. Ventajas del diseño factorial

Permite estudiar los efectos principales, efectos de interacción de factores, efectos simples y efectos cruzados y anidados. Todas las unidades experimentales intervienen en la determinación de los efectos, por lo que el número de repeticiones es elevado para estos casos. El número de grados de libertad para el error experimental es alto, comparándolo con los grados de libertad de los experimentos simples de los mismos factores, lo que contribuye a disminuir la varianza del error experimental, aumentando por este motivo la precisión del experimento (Castejón, 2011).

2.9.2.2. Desventajas del diseño factorial

Se requiere un mayor número de unidades experimentales que los experimentos simples y por lo tanto se tendrá un mayor costo y trabajo en la ejecución del experimento. Como en los experimentos factoriales cada uno de los niveles de un factor se combinan con los niveles de los otros factores; a fin de que exista un balance en el análisis estadístico se tendrá que algunas de las combinaciones no tiene interés práctico pero deben incluirse para mantener el balance. El análisis estadístico es más complicado que en los experimentos simples y la interpretación de los resultados se hace más difícil a medida de que aumenta el número de factores y niveles por factor en el experimento (Castejón, 2011).

2.9.2.3. Análisis de la varianza

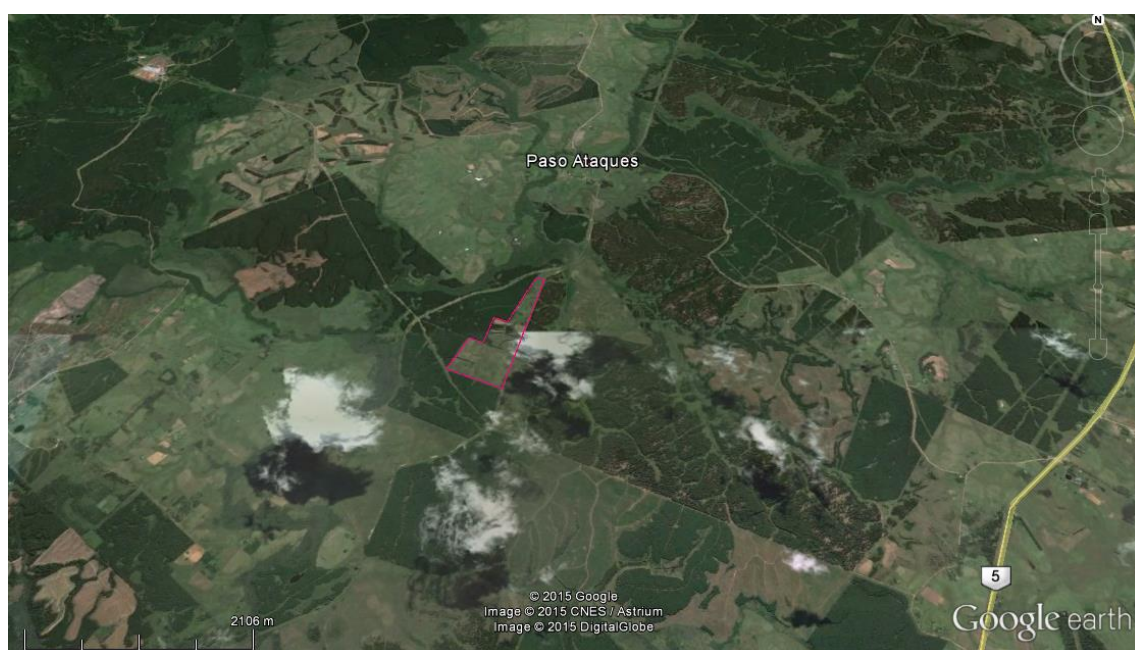
El análisis de la varianza (ANAVA), permite probar hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$ con $i=1, \dots, a$ donde a =número de poblaciones o tratamientos (Balzarini et al., 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El ensayo se ubica en el predio denominado “Solari”, aproximadamente a 3.5 km de la estación Paso Ataques ubicado en el departamento de Rivera, al cual se accede desde Montevideo, por ruta 5 hasta el kilómetro 469, entrando hacia la izquierda por camino vecinal recorriendo 6 km hasta el casco de dicho establecimiento.

Figura No. 1. Límites y ubicación del predio.



3.2. RECURSOS NATURALES

3.2.1. Geología

Según la carta geológica del Uruguay, escala 1:500.000 el ensayo se encuentra sobre la formación (Fm.) Tacuarembó (anexo No. 1, Bossi y Navarro, 1988).

La formación Tacuarembó es la más espesa y extendida del grupo Batoví Dorado. Está compuesta por estratos horizontales tabulares polimétricos de superficies planas, definiendo la alternancia de las diferentes litologías componentes. El tipo de roca más abundante son las areniscas finas, a veces muy finas, bien seleccionadas,

redondeadas o subangulares, feldespáticas, micáceas. El cemento es arcilloso y la coloración, gris blanquecina a verdosa. El espesor máximo observado para estratos unitarios de esta litología fue 3 metros. Siguen en orden de abundancia areniscas finas a media, bien seleccionadas, cuarzosas, micáceas de cemento arcilloso con estratificación paralela. Tienen tonos verdosos a violáceos y estructura lenticular con máximo espesor de 0 m 50 y longitud no mayor a 20 metros. Otro término abundante lo constituyen las areniscas finas a medias, bien seleccionadas, cuarzosas, con cemento arcilloso, sin estratificación interna (masivas) de color rosado pálido a blancuzco con espesores individuales de hasta 2 metros. Limolitas y fangolitas muscovíticas, de colores verdosos, rojizos, pardos y violáceos aparecen esporádicamente con estructura lenticular de espesores reducidos (0m30-0m 60) (Bossi y Navarro, 1988).

3.2.2. Suelos

3.2.2.1. Suelo 7.31

Se localiza en los alrededores de la ciudad de Rivera, sobre las rutas 5, 27 y 30, hasta Tranqueras. El material geológico lo forman areniscas rojas, poco litificadas, apoyadas sobre areniscas de Tacuarembó. El relieve está constituido por colinas sedimentarias no rocosas, con pendientes de 6 - 10%. Los suelos dominantes son acrisoles ócricos típicos (praderas arenosas rojas) muy profundos, de color pardo rojizo, textura arenoso franca, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. Asociados, aparecen acrisoles ócricos albicos muy profundos de color pardo oscuro, textura franco arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. La vegetación es la normal de la zona; se puede hacer agricultura con medidas muy intensas de conservación, largas rotaciones con praderas y cuidando la toxicidad de aluminio. Actualmente se hacen cultivos especiales (tabaco y sandía) y de verano (maíz). Asimismo hay excelentes montes de eucaliptos. Este grupo integra la unidad Rivera de la carta a escala 1: 1.000.000 (D.S.F.). Índice de productividad 66 (MGAP. RENARE, s.f.).

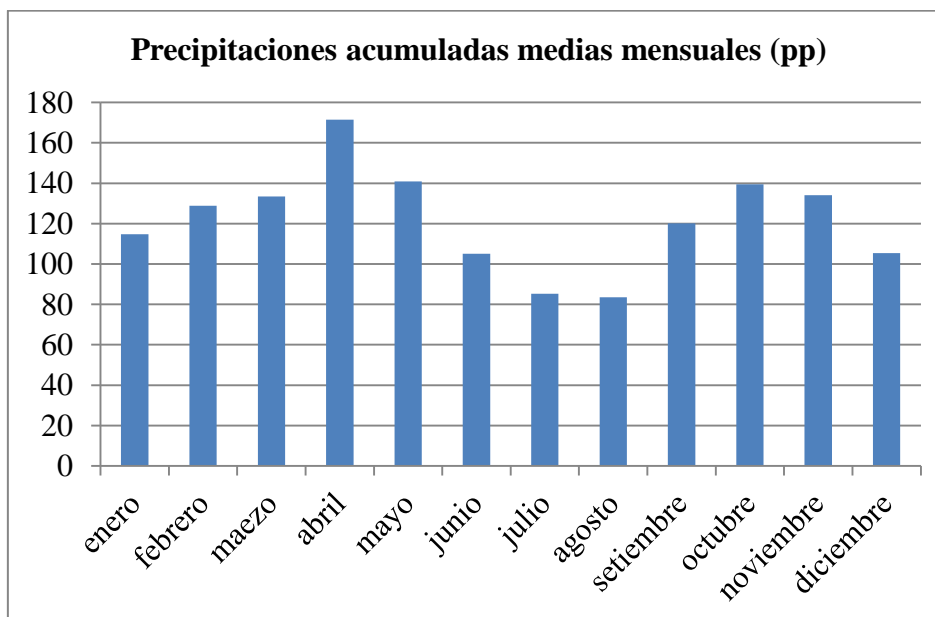
3.2.3. Caracterización agroclimática

La actividad agropecuaria es altamente influenciada por las condiciones climáticas y su variabilidad, el conocimiento de la climatología de una región es un elemento fundamental para la planificación y la toma de decisiones.

3.2.3.1. Precipitaciones

Los valores medios de precipitación acumulada anual sobre el país se sitúan entre 1200 y 1600 mm con los menores valores situados al suroeste y los máximos al noreste (departamentos de Artigas y Rivera) (Castaño et al., 2011).

Gráfico No. 1. Precipitaciones acumuladas medias mensual de Paso Ataques, período 1980 – 2009



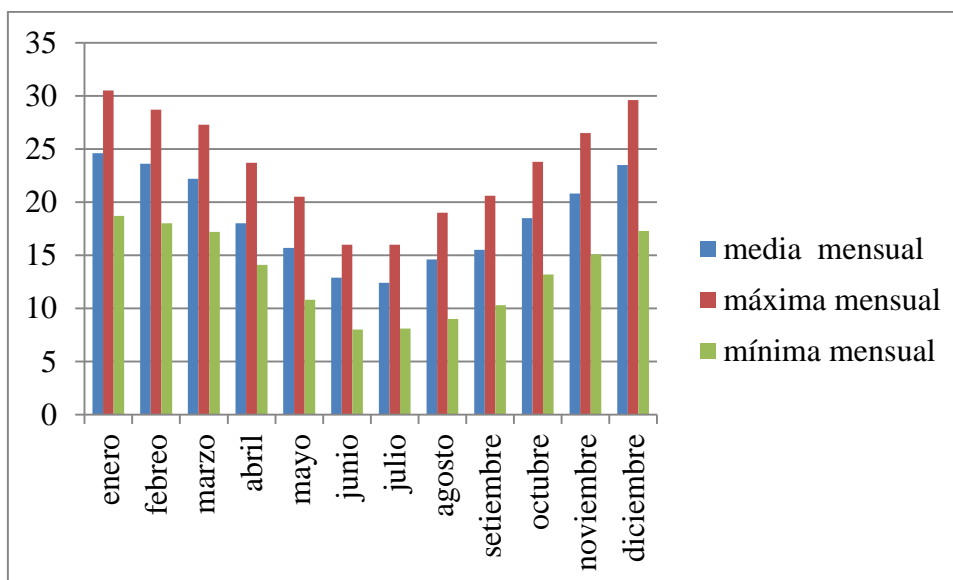
Fuente: INIA. GRAS (s.f.).

Según INIA. GRAS (s.f.) para el período 1980-2009, la estación de Paso Ataques tiene una media de precipitaciones acumulada anual de 1462.5 mm, con valores mayores hacia los meses de otoño (abril y mayo) y valores menores hacia los meses de invierno (julio y agosto).

3.2.3.2. Temperaturas

La temperatura media anual sobre el Uruguay es de unos 17.7 °C, variando desde unos 19.8 °C en la zona noreste (Bella Unión), hasta unos 16.6 °C en la costa sur del país. Las isotermas tienen una tendencia incremental general desde el sur hacia el noroeste (Castaño et al., 2011).

Gráfico No. 2. Caracterización del régimen térmico (°C) de Rivera, período 1980-2009.



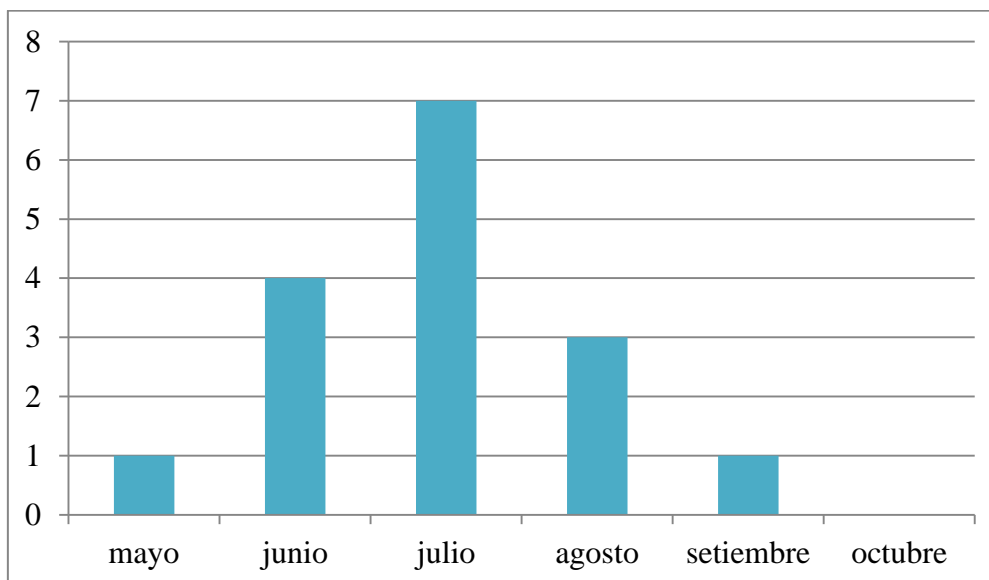
Fuente: INIA. GRAS (s.f.).

Las temperaturas medias más altas se presentan en los meses de verano (diciembre, enero y febrero) y las más bajas en los meses de invierno (junio, julio). Los promedios anuales del aire se caracterizan por una temperatura máxima media de 23.71 °C y una mínima media de 13.44 °C.

3.2.3.3. Heladas agrometeorológicas

Se denomina helada agrometeorológica cuando la temperatura mínima de césped es menor a cero grado. Por causa de la variación intra anual de la temperatura existe un período en el cual éstas se manifiestan típicamente sobre nuestro país (Castaño et al., 2011).

Gráfico No. 3. Ocurrencia de heladas (días y décimas de ocurrencia) en Rivera, correspondiente al período 1980-2009.



Fuente: INIA. GRAS (s.f.).

Como se puede observar durante el mes de julio es donde se registra el mayor número de días con ocurrencia de heladas, seguido de los meses de junio, agosto y setiembre, el mes de octubre no se registran ocurrencias de heladas.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tratamientos

Los tratamientos se definieron como la combinación de los factores de interés: clones y tubetes. Siendo los niveles de clones (SS17, SS12, SS10) y los de tubetes (F63, 104, B77, B96) resultando en 12 tratamientos más un testigo de semilla sembrado en bandeja.

Cuadro No. 1. Combinación de clones y tubetes.

Trat.	Genética	Tubete
1	SS17	F63
2	SS17	104
3	SS17	B77
4	SS17	B96
5	SS12	F63
6	SS12	104
7	SS12	B77
8	SS12	B96
9	SS10	F63
10	SS10	104
11	SS10	B77
12	SS10	B96
13	semilla	bandeja

Los distintos tubetes se diferencian básicamente en volumen y únicamente los tubetes B96 y B77 presentan ranura lateral para la poda lateral de las raíces.

Cuadro No. 2. Volumen de cada tubete.

Tub.	Vol. ml
B77	105
M104	90
bandeja	90
F63	70
B96	65

3.3.2. Metodología de trabajo

El trabajo de toma de datos correspondió a la medición de todos los individuos seleccionados y el mismo se llevó a cabo en dos etapas. Primera etapa a la salida del vivero el 5 de noviembre del 2014 registrando el DAC y altura. El diámetro al cuello se midió utilizando un calibre, el cual consta de una regla graduada en mm y dos brazos perpendiculares a ésta, uno fijo y otro móvil, que se desplaza a lo largo de la regla, registrándose directamente en la regla el diámetro. La altura se midió con una simple regla graduada en centímetros desde el DAC hasta el ápice del plantín.

Las estaquillas se realizaron entre el 22 y 23 de julio del año 2014, las semillas se sembraron a la misma fecha. El 29 de setiembre del mismo año los clones pasaron a celda por medio, para una mayor aireación y crecimiento, los plantines de semilla permanecieron en bandeja sin celda por medio. En promedio cada tratamiento consta de 100 plantas, todas las plantas fueron medidas a la salida del vivero.

La segunda etapa consta de la instalación del ensayo a campo realizado el día 7 del mismo mes, se instaló en un campo sin forestación previa, un campo ganadero. Los tratamientos previos a la instalación del ensayo constan del laboreo de tierra y control sistemático de hormiga. En la segunda etapa de medición se registró el diámetro a nivel del suelo con un calibre similar al utilizado en la medición del DAC, la altura medida mediante una pértiga y sobrevivencia (vivos y ausentes o muertos). La medición a campo ocurrió el día 2 del mes de abril del año 2015.

3.3.3. Procesamiento de los datos

3.3.3.1. Análisis descriptivo

El análisis descriptivo se basa en gráficos de cajas y gráficos de líneas. El gráfico de caja (box-plot), tiene por objeto reflejar mejor la forma de las distribuciones dando en un mismo elemento gráfico información acerca de la mediana, la media, los cuantiles 0.05, 0.25, 0.75 y 0.95 y mostrando la presencia, si los hubiere, de valores extremos (Balzarini et al., 2008). Los gráficos se realizaron a través de las variables agrupadas según tubetes, genotipos y tratamientos.

3.3.3. 2. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de hipótesis para la media de todas las variables medidas. Se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12}$$

Ha: existe al menos un efecto diferente entre medias de los tratamientos

Criterios de decisión:

P-valor $> p = 0,05$ no rechazo H_0 con 95% de confianza

P-valor $<$ (o igual) $p = 0,05$ rechazo H_0 con 95% de confianza

De acuerdo a Montgomery (2004) el P-valor está definido como la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido (valor del estadístico calculado), suponiendo que la hipótesis nula es cierta. Se rechaza la hipótesis nula si el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 ó 0,01. Es decir, el valor p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido si suponemos que la hipótesis nula es cierta.

Para el análisis estadístico se tomó como base el software R (del R Development Core Team, versión 2015). Este software mediante el análisis de varianza (ANAVA) permite detectar la existencia de al menos una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. El ANAVA es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (sumas de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocida (Nelder, Searle, citados por Balzarini et al., 2008). Si como resultado de la ANAVA se comprueba la existencia de una interacción significativa, se entiende que existe un factor afectado por otro; en estos casos se realizan pruebas de comparación de medias fijando un factor y observando las diferencias entre niveles del otro factor; esto se logra mediante el paquete lsmeans en el R.

Cabe destacar que los modelos estadísticos utilizados en ambas etapas no contemplan el tratamiento 13 debido a que los demás tratamientos surgen de la combinación de los distintos niveles de los factores en estudio y el tratamiento 13 (testigo: SSO y bandeja) no comparte ninguna combinación por lo que se cometería un error si se incluyera en un modelo factorial. El tratamiento 13 se analiza en base a un análisis descriptivo.

3.4. PRIMERA ETAPA: VIVERO

3.4.1. Producción de plantines en vivero

Las fases pertenecientes al ciclo de producción de plantines mediante la técnica de macropropagación desarrollada en este vivero, apunta a crear un ambiente en el cual se dé un equilibrio entre las condiciones bajo las cuales la especie tiene un crecimiento óptimo (jardín clonal, enraizamiento) y aquellas bajo las cuales tendrá que crecer cuando sea llevada a campo (rustificación).

En el vivero en donde se llevó a cabo parte de la investigación, el ciclo productivo de los clones utilizados tuvo una duración aproximada de 4 meses. Este proceso productivo comprende las siguientes fases. Jardín clonal: en esta fase se encuentran las plantas madres de los clones utilizados, las cuales conforman el material base de propagación, a partir de las mismas se obtuvieron las estacas de aproximadamente 10-15cm con dos nudos, para su posterior enraizamiento. Se encuentran ubicadas sobre piletas de hormigón conteniendo agua y mezcla de fertilizante líquido (hidroponías). Enraizamiento: en esta fase se generan en un ambiente óptimo para el enraizado de las estaquillas, condiciones tales como luminosidad, humedad (90-95 %), y temperatura (raíces 25-30°C) mediante un sistema que permite la circulación de agua caliente por caños lo cual permite elevar la temperatura del piso y por consiguiente mayor velocidad de enraizamiento. Los plantines alcanzan un tamaño entre 15 a 20 cm. En enraizamiento las plantas permanecen aproximadamente 20 días. Rustificación: las plantas permanecen aproximadamente 10 a 15 días y alcanzan una altura mayor a 20 cm. Las plantas de semilla reciben el mismo tratamiento.

El sustrato empleado en vivero es una mezcla de corteza de pino con vermiculita y la fertilización se lleva a cabo con fertilizante de liberación lenta y fosfato de amonio. Las plantas de semilla y clones reciben el mismo tratamiento.

3.4.2. Índice de robustez

Esta etapa tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los tubetes y clones mediante el Índice de robustez que considera las variables altura del plantín y el diámetro a la altura del cuello.

- Índice de robustez (cm/mm) = altura (cm) / diámetro a la altura del cuello (mm).

3.4.3. Modelo

En la etapa de vivero no existe un diseño estadístico, las plantas fueron seleccionadas dentro del total de plantas destinadas a la producción del vivero; se realizó un modelo exploratorio con el siguiente modelo para evaluar la interacción entre los factores:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + C_j + TC_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

i: 1,2,3,4.(tubete)

j: 1,2,3.(clon)

Y_{ij} – Índice de robustez (cm/mm) del i – ésimo tubete con el j – ésimo clon.

μ - media poblacional.

T_i – efecto del i – ésimo tubete.

C_j – efecto del j – ésimo clon.

TC_{ij} – efecto de la interacción entre el i – ésimo tubete y el j – ésimo clon.

ε_{ij} – error experimental asociado al i – ésimo tubete con el j – ésimo clon.

$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ independientes para todo i,j

3.5. SEGUNDA ETAPA: CAMPO

3.5.1. Diseño experimental

El diseño experimental se basa en un diseño factorial en bloques con un total de 8 bloques (repeticiones) y 13 tratamientos resultantes de la combinación de los tres clones con los cuatro tubetes más el testigo de semilla sembrado en bandeja. Las repeticiones se distribuyeron por todo el predio en el intento de contemplar el mismo. Cada bloque consta de 13 surcos o filas (un surco por tratamiento). El marco de plantación mantuvo lo establecido por la empresa para clones comerciales: 4.2m distancia entre plantas y 3.4m distancia entre filas.

El modelo para este diseño corresponde a un diseño en bloques completamente al azar con arreglo factorial donde cada bloque*tratamiento es aleatorio, es decir cada surco es un factor aleatorio ya que se debe considerar la varianza dentro de cada bloque porque cada uno está compuesto por un número distinto de plantas debido a la sobrevivencia.

Figura No. 2. Croquis del ensayo

R1	2	5	11	9	10	1	8	6	3	4	13	12	7
R2	10	5	13	9	7	2	6	8	1	11	3	12	4
R3	9	6	4	13	8	3	5	12	1	10	7	11	2
R4	4	10	2	8	11	9	13	1	7	12	5	3	6
R5	7	13	5	9	6	8	12	11	1	3	2	4	10
R6	3	8	13	2	7	1	10	6	12	5	11	4	9
R7	12	9	1	7	5	11	3	6	10	4	8	13	2
R8	6	1	7	11	9	2	4	5	13	3	10	8	12

El número corresponde al tratamiento y cada repetición es un bloque

Para el procesamiento de los datos a campo se utilizaron dos variables sobrevivencia y volumen.

3.5.2. Sobrevivencia

Para estudiar el efecto de los distintos tipos de tubetes y distintos tipos de clones sobre la sobrevivencia a campo se ajustó un modelo lineal generalizado, asumiendo una distribución quasibinomial de la variable aleatoria cuyas variables de respuesta corresponden al total de plantas vivas, ya que se restaron las plantas muertas.

Según Montgomery (2004) un modelo lineal generalizado es básicamente un modelo de regresión. En dicho modelo, la variable de respuesta puede tener cualquier distribución que sea un miembro de la familia exponencial, esta familia incluye las distribuciones normal, de Poisson, binomial, exponencial y gamma.

El modelo correspondiente a este ajuste se enmarca dentro del contexto de diseño de experimentos:

$$Y_{ijk} = \mu + C_j + T_i + B_k + CT(ij) + \varepsilon_{ijk}$$

- i: 1,2,3,4(tubete)
- j: 1, 2,3(clon)
- k: 1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (bloques)
- Y_{ijk} - sobrevivencia del i – ésimo tubete, j – ésimo clon en el k – ésimo bloque
- μ - media poblacional
- T_i – efecto del i – ésimo tubete
- C_j – efecto del j – ésimo clon
- TC_{ij} – efecto de la interacción entre el i – ésimo tubete y el j – ésimo clon.
- B_k – efecto del k – ésimo bloque
- ε_{ijk} – error experimental asociado al i – ésimo tubete, j – ésimo clon, en el k – ésimo bloque

Los errores se asumieron binomiales por la naturaleza de la variable Y y para analizar los datos se realizó un análisis con una función de enlace logística en el contexto de modelos lineales generalizados.

3.5.3. Volumen

Para el cálculo del volumen a los cuatro meses de plantado a campo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (dm}^3\text{)} = \text{Pi}/4 * \text{DC}^2 * \text{H}$$

- volumen (dm³): volumen de cada árbol
- DC (dm): diámetro al cuello
- H (dm): altura total

Para la obtención del volumen individual, se utilizó la función general de volumen, la cual consiste en un modelo que lo estima con el diámetro y la altura total de los árboles ya que con diámetros tan pequeños no tiene mucho sentido aplicar factor de forma. El volumen hallado considera a cada árbol como un cilindro. Como los valores son muy pequeños se los expresa en dm³.

El volumen por parcela se obtuvo sumando el volumen de todos los árboles que comprendían a cada una. El volumen por unidad de superficie (hectárea) se obtuvo mediante la suma de todo el volumen por parcela y la relación entre la superficie ocupada por dicha parcela (surco donde se ubica el tratamiento) y la superficie de una hectárea. Dicha relación nos expresa el factor de expansión que permite calcular cuánto de volumen hay en una hectárea.

- superficie 1 parcela (surco) = $171,36 \text{ m}^2$
- volumen por parcela (m^3) = Σ Volúmenes individuales
- 1 hectárea = 10.000 m^2

3.5.3.1. Volumen por tratamiento

- factor de expansión ($fe_{\text{trat.}}$) = Σ superficie ocupada por el tratamiento ($171,36 \text{ m}^2 * 8$) / superficie de 1 hectárea.
- volumen ($\text{dm}^3/\text{ha.}$) = Σ de volúmenes por tratamiento * $fe_{\text{trat.}}$.

3.5.3.2. Volumen por tubete

- factor de expansión tubete ($fe_{\text{tub.}}$) = Σ superficie ocupada por el tubete ($171,36 \text{ m}^2 * 24$) / superficie de 1 hectárea.
- volumen ($\text{dm}^3/\text{ha.}$) = Σ de volúmenes por tubete * $fe_{\text{tub.}}$.

3.5.4. Modelo estadístico de volumen

El modelo se representa de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + (TC)_{ij(k)} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

- i : 1,2,3,4.(tubete)
- j : 1,2,3,(clon)
- k : 1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.(bloques)

- Y_{ijk} - volumen (dm^3) por bloque del i – ésimo tubete, j – ésimo clon en el k – ésimo bloque
- μ - media poblacional
- T_i – efecto del i – ésimo tubete
- C_j – efecto del j – ésimo clon
- $TC_{ij(k)}$ – efecto de la interacción entre el i – ésimo tubete y el j – ésimo clon – anidado en el k – ésimo bloque.
- B_k – efecto del k – ésimo bloque
- ε_{ijk} – error experimental asociado al i – ésimo tubete, j – ésimo clon, en el k – ésimo bloque.
- $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ independientes para todo i, j, k

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VIVERO: ETAPA 1

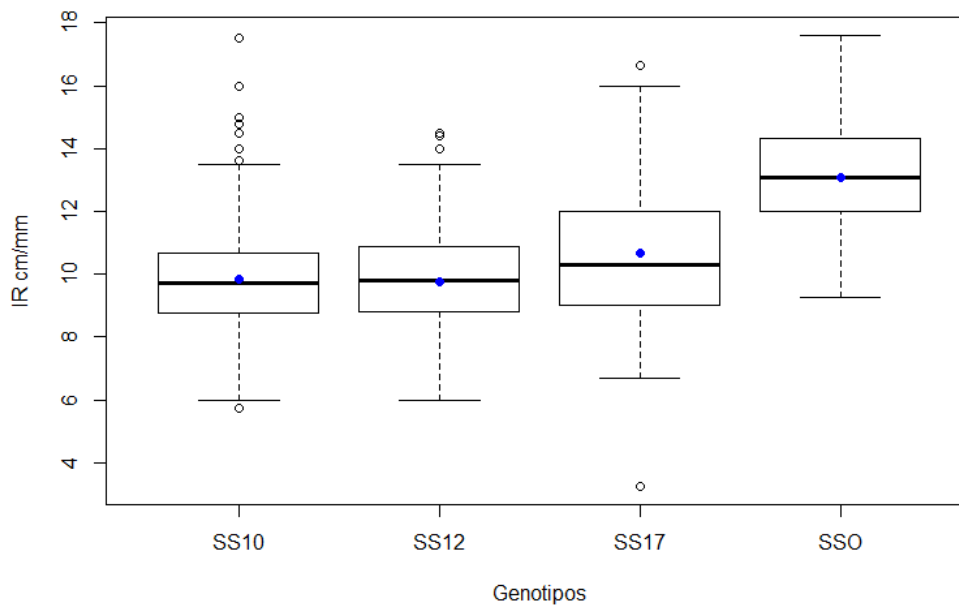
4.1.1. Estadística descriptiva

Cuadro No. 3. Índice de robustez según tratamiento

Trat.	Genética	Tubete	Promedio de los datos		
			DACmm	Altura cm	IR
1	SS17	F63	2,89	28,4	10,06
2	SS17	104	3,57	36,9	10,49
3	SS17	B77	3,08	34,29	11,23
4	SS17	B96	2,68	28,58	10,87
5	SS12	F63	2,85	26,33	9,31
6	SS12	104	3,24	33,44	10,4
7	SS12	B77	3,05	31,12	10,31
8	SS12	B96	2,59	23,76	9,28
9	SS10	F63	2,9	28,11	9,85
10	SS10	104	3,31	32,04	9,83
11	SS10	B77	3,27	31,94	9,88
12	SS10	B96	2,7	25,09	9,49
13	semilla	bandeja	3,15	40,58	13,07

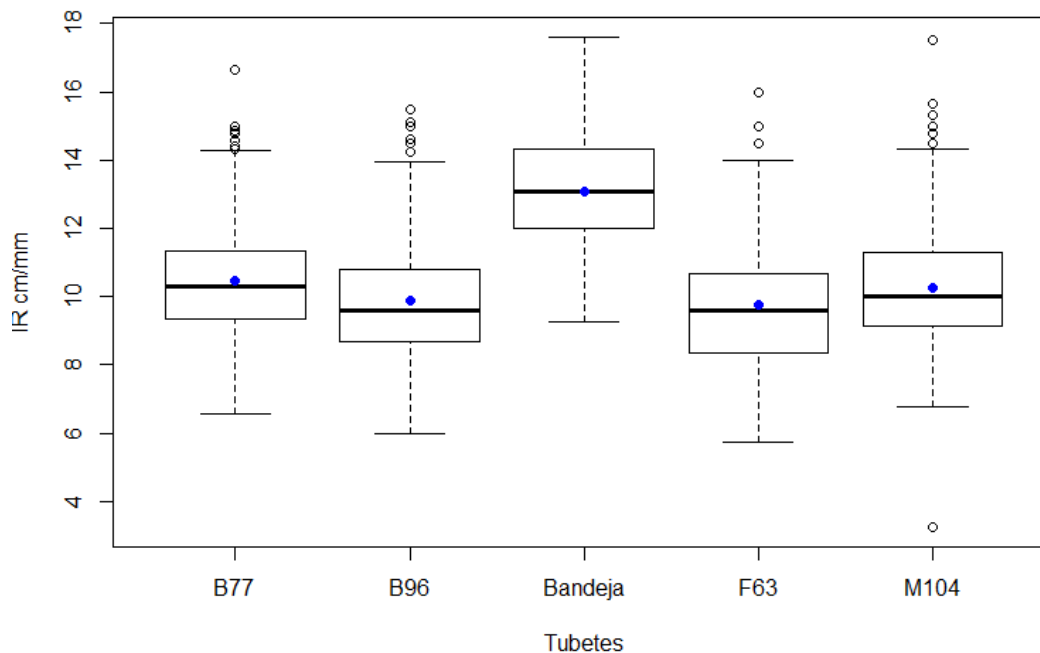
Se puede observar que los mejores resultados de índice de robustez los presentan el tratamiento 5 y 8, clon SS12 con los tubetes F63 y B96 respectivamente. El clon SS10 presenta en todos sus tratamientos valores similares de IR.

Gráfico No. 4. Índice de robustez, según genotipo



De acuerdo a los boxplot (gráficos de caja), la mediana de los clones SS10, SS12 y SS17 están alrededor de 10. El IR del clon SS17 presenta una mayor dispersión en sus valores centrales que los demás clones. Se observa valores extremos para SS10. El genotipo de semilla presenta los mayores valores de IR. Las medias de cada genotipo coinciden con las medianas, es decir el 50% de los valores superiores coinciden con el promedio de las observaciones, a excepción del clon SS17 cuya media es un poco superior a la mediana. Para todos los genotipos se observa una distribución simétrica de IR.

Gráfico No. 5. Índice de robustez, según tubetes



De acuerdo a los boxplot, se observa que la mediana de los tubetes se centra alrededor del valor 10 de IR. Los gráficos son de similar dispersión y simetría, se puede ver la media de los genotipos que coincide con la mediana. La bandeja presenta los mayores valores de mediana para IR y los valores extremos.

4.1.2. Análisis estadístico

De acuerdo al análisis de varianza arrojado mediante el ANAVA se encontraron diferencias significativas en los factores por separado y principalmente en la interacción clon*tubete, p valor < 0.05, p valor menor al nivel de significancia. Dada la existencia de la interacción no se puede analizar los factores por separados ya que cada nivel de factor está dependiendo del nivel del otro factor.

Cuadro No. 4. Resultados ANAVA para *E.grandis*.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Clon	2	202	101.14	33.389	7.72e-15
Tubete	3	99	32.97	10.882	4.69e-07
clon:tubete	6	100	16.72	5.518	1.19e-05
Residuals	1203	3644	3.03		

P valor < 0.05 se rechaza Ho con un 95 % de confianza.

Cabe recordar que el índice evaluado es un índice que está conformado por la división altura del plantín / DAC del plantín, y su calidad se expresa mediante un menor coeficiente, es decir tratamientos con menores IR, mejora su calidad.

En los siguientes cuadros se presenta el análisis de comparación de medias del paquete lsmeans de R Project, mediante el cual se fija un factor y se observa las diferencias entre niveles del otro factor. En este caso el factor fijado es el clon y se lo compara con los distintos niveles del factor tubete.

Cuadro No. 5. Contrastes según clon SS10.

clon = SS10					
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
B77 - B96	0.38796951	0.2461508	1203	1.576	0.3927
B77 - F63	0.02558868	0.2386190	1203	0.107	0.9996
B77 - M104	0.04723356	0.2438189	1203	0.194	0.9974
B96 - F63	-0.36238083	0.2373460	1203	-1.527	0.4217
B96 - M104	-0.34073595	0.2425732	1203	-1.405	0.4966
F63 - M104	0.02164488	0.2349267	1203	0.092	0.9997

Cuadro No. 6. Contrastes según clon SS12.

clon = SS12						
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value	
B77 - B96	1.02841047	0.2499291	1203	4.115	0.0002	
B77 - F63	1.00313316	0.2433529	1203	4.122	0.0002	
B77 - M104	-0.09372881	0.2473912	1203	-0.379	0.9815	
B96 - F63	-0.02527731	0.2446725	1203	-0.103	0.9996	
B96 - M104	-1.12213929	0.2486893	1203	-4.512	<.0001	
F63 - M104	-1.09686197	0.2420794	1203	-4.531	<.0001	

Cuadro No. 7. Contrastes según clon SS17.

clon = SS17						
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value	
B77 - B96	0.36314379	0.2493037	1203	1.457	0.4643	
B77 - F63	1.17313612	0.2473785	1203	4.742	<.0001	
B77 - M104	0.74510510	0.2467593	1203	3.020	0.0138	
B96 - F63	0.80999233	0.2493037	1203	3.249	0.0065	
B96 - M104	0.38196131	0.2486893	1203	1.536	0.4163	
F63 - M104	-0.42803102	0.2467593	1203	-1.735	0.3061	

P valor < 0.05 se rechaza Ho con un 95 % de confianza.

Se observa que fijando el factor se obtiene una prueba de contrastes. El clon SS10 no se diferencia estadísticamente en ninguno de los tubetes, es decir dicho clon mantiene el mismo comportamiento con cualquiera de los tubetes evaluados.

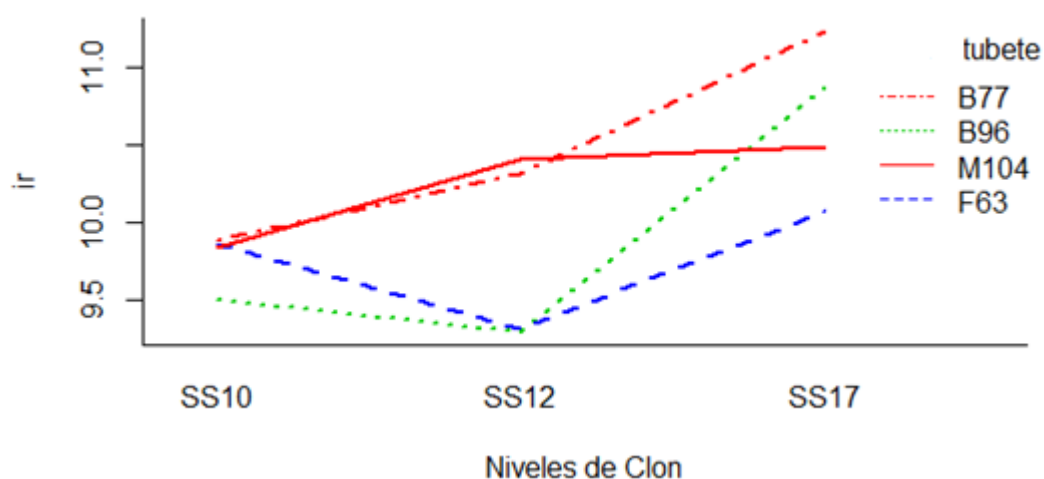
El clon SS12 modifica su comportamiento según el tubete evaluado (debido a la interacción), el clon SS12 con el tubete B77 se diferencia de los tubetes B96 y F63 (p-valor < 0.05), siendo el B77 superior a estos en cuanto a índice de robustez. A su vez el tubete M104 presenta el mismo comportamiento del B77, diferenciándose de los mismos tubetes B96 y F63 (p-valor < 0.05) siendo superior a estos. Por ende los tubetes B77 y M104 no se diferencian entre sí presentando los valores superiores de IR y los tubetes B96 y F63 los menores valores sin diferencias entre ambos.

El clon SS17 al igual que el anterior también presenta comportamiento distinto según el tubete considerado, SS17 con el tubete B77 se diferencia del F63 y del M104 (p-valor < 0.05), siendo superior a estos en cuanto a índice de robustez y a su vez el B96 se diferencia del F63 (p-valor < 0.05), siendo el B96 superior en IR. Los tubetes F63 y M104 no se diferencian entre sí y presentan los menores valores de índice de robustez.

Por ende los tubetes B77 y B96 no se diferencian entre sí y presentan los mayores niveles de índice de robustez.

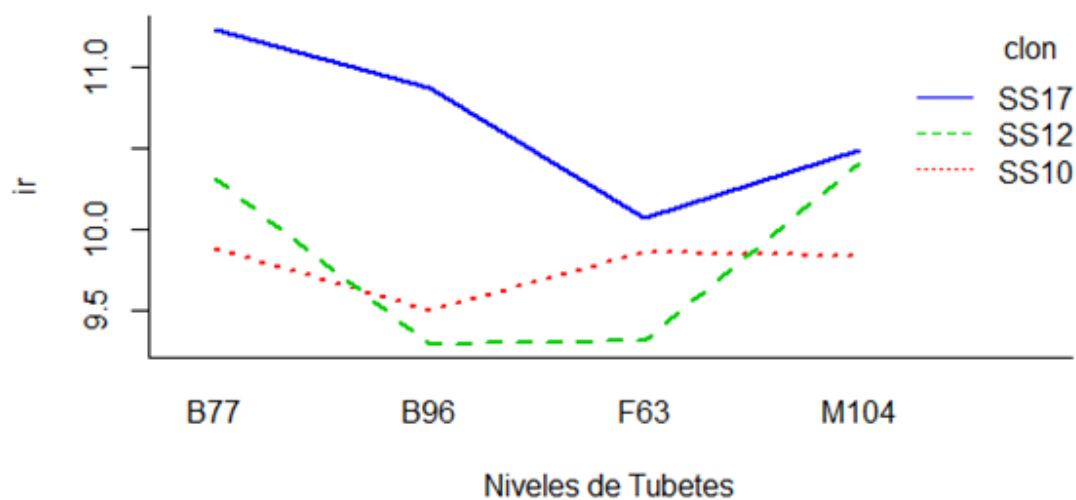
Por lo tanto según el estudio de contrastes para el clon SS10 no hay diferencias en índice de robustez con los distintos tubetes. Para el clon SS12 el mejor índice de robustez se obtiene con el uso de los tubetes B96 y F63. Para el clon SS17 el mejor índice de robustez se obtiene mediante los tubetes F63 y M104.

Gráfico No. 6. Índice de robustez, interacción clon* tubete, según clones.



En la gráfica No. 6 se puede observar la interacción entre los factores tomando en cuenta las medias por clones, el clon SS12 presentan los menores valores de IR con los tubetes B96 y F63, el clon SS10 presenta el menor valor de IR con el tubete B96 y con los demás tubetes valores similares de IR. El clon SS17 presenta valores muy diversos según el tubete. Se puede observar que el tubete B77 presenta los mayores valores de IR para todos los clones.

Gráfico No. 7. Índice de robustez, interacción clon* tubete, según tubetes.



La gráfica No. 7 muestra la interacción entre los factores según las medias por tubete, se observa, al igual que la gráfica anterior, que los menores valores de IR presentan los tubetes B96 y F63 y los mayores valores el tubete B77, seguido por el M104. El clon SS17 presenta para todos los tubetes valores mayores de IR y el clon SS10 presenta valores intermedios sin mucha variación entre los tubetes. El clon SS12 presenta valores distintos según el envase, para los tubetes B96 y F63 presentan los menores valores de IR.

4.1.2.1. Análisis de DAC

Es la característica de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo. Se realizó un análisis estadístico siguiendo el mismo modelo en bloques factorial y resulto significativa la interacción.

Cuadro No. 8. Resultados ANAVA para DAC (mm)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Clon	2	3.76	1.878	11.463	1.17e-05 ***
Tubete	3	86.74	28.913	176.444	< 2e-16 ***
clon:tubete	6	5.91	0.984	6.006	3.35e-06 ***
Residuals	1203	197.13	0.164		

Cuadro No.9. Contrastes según clon SS10.

Clon=SS10					
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
B77 - B96	0.57470747	0.05725015	1203	10.039	<.0001
B77 - F63	0.37272727	0.05549838	1203	6.716	<.0001
B77 - M104	-0.04155844	0.05670779	1203	-0.733	0.8839
B96 - F63	-0.20198020	0.05520230	1203	-3.659	0.0015
B96 - M104	-0.61626591	0.05641807	1203	-10.923	<.0001
F63 - M104	-0.41428571	0.05463962	1203	-7.582	<.0001

Cuadro No.10. Contrastes según clon SS12.

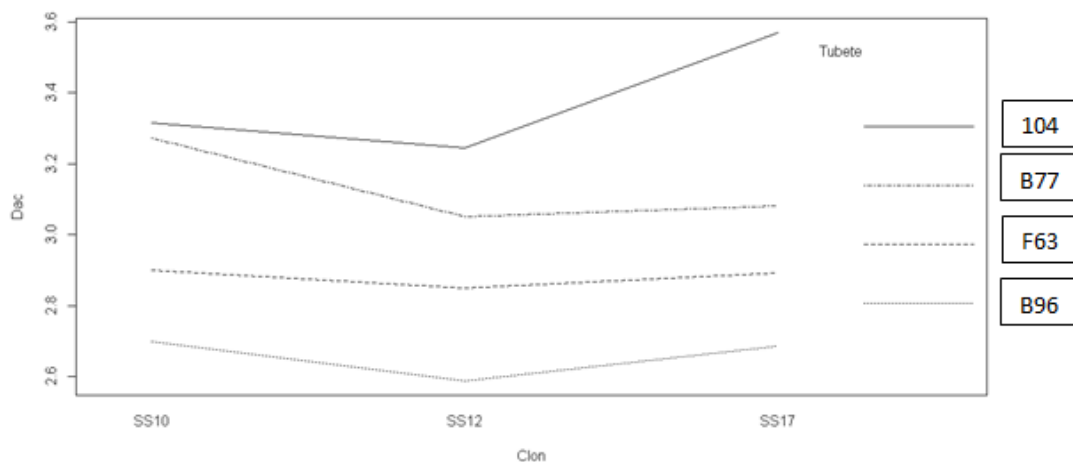
Clon=SS12					
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
B77 - B96	0.46247874	0.05812890	1203	7.956	<.0001
B77 - F63	0.20055312	0.05659941	1203	3.543	0.0023
B77 - M104	-0.19397959	0.05753862	1203	-3.371	0.0043
B96 - F63	-0.26192562	0.05690631	1203	-4.603	<.0001
B96 - M104	-0.65645833	0.05784054	1203	-11.349	<.0001

Cuadro No. 11. Contrastes según clon SS17.

Clon=SS17					
contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
B77 - B96	0.39330808	0.05798344	1203	6.783	<.0001
B77 - F63	0.18686869	0.05753569	1203	3.248	0.0066
B77 - M104	-0.48919192	0.05739167	1203	-8.524	<.0001
B96 - F63	-0.20643939	0.05798344	1203	-3.560	0.0022
B96 - M104	-0.88250000	0.05784054	1203	-15.257	<.0001
F63 - M104	-0.67606061	0.05739167	1203	-11.780	<.0001

Mediante el análisis de contrastes se observa que los tubetes mantienen el mismo comportamiento con los tres clones. Existiendo diferencias entre cada comparación de tubetes, a excepción del clon SS10 con los tubetes B77 y M104, donde las diferencias halladas no son significativas. El tubete M104 es el que presenta mayor DAC, seguido del B77. Los menores valores se obtuvieron con los tubetes F63 y B96.

Gráfico No. 8. DAC (mm)

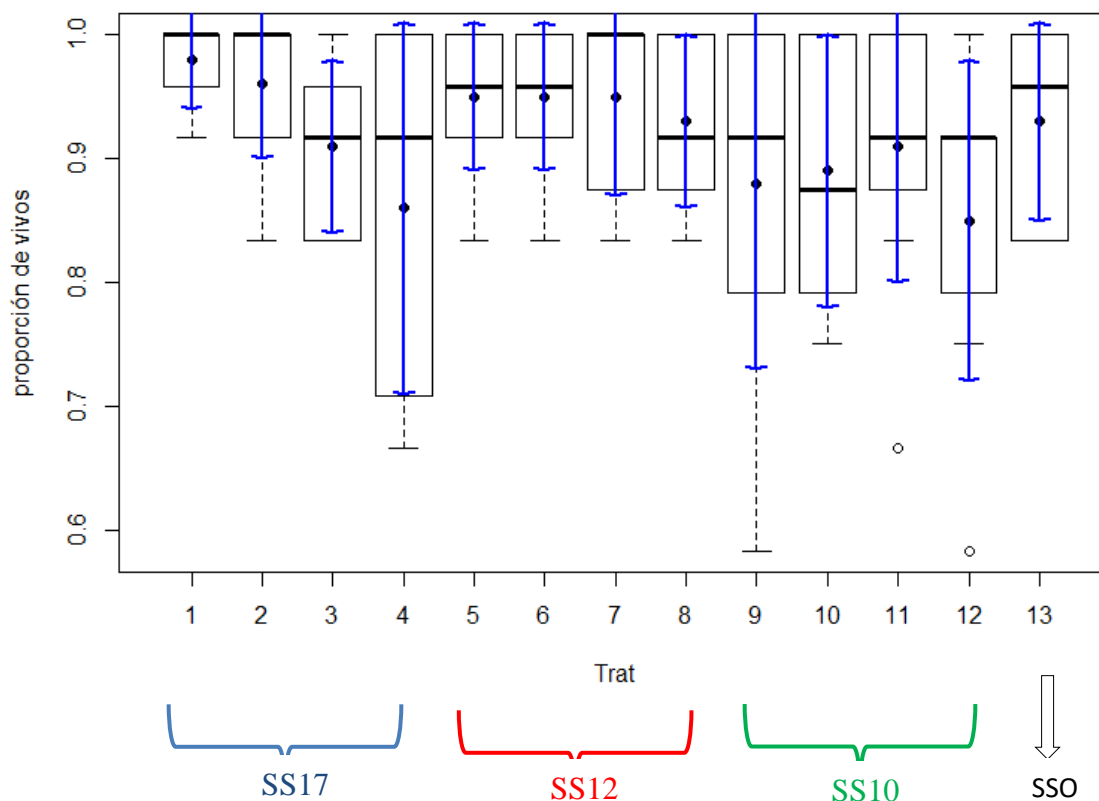


Mediante el gráfico se pueden ver mejor las diferencias halladas. Para todos los clones los mejores resultados de DAC se obtuvieron con el tubete M104, salvo el clon SS10 que no resultó significativa la diferencia con los tubetes M104 y B77.

4.2. SOBREVIVENCIA: ETAPA 2

4.2.1. Estadística descriptiva

Gráfico No. 9. Sobrevivencia a campo, según tratamiento.



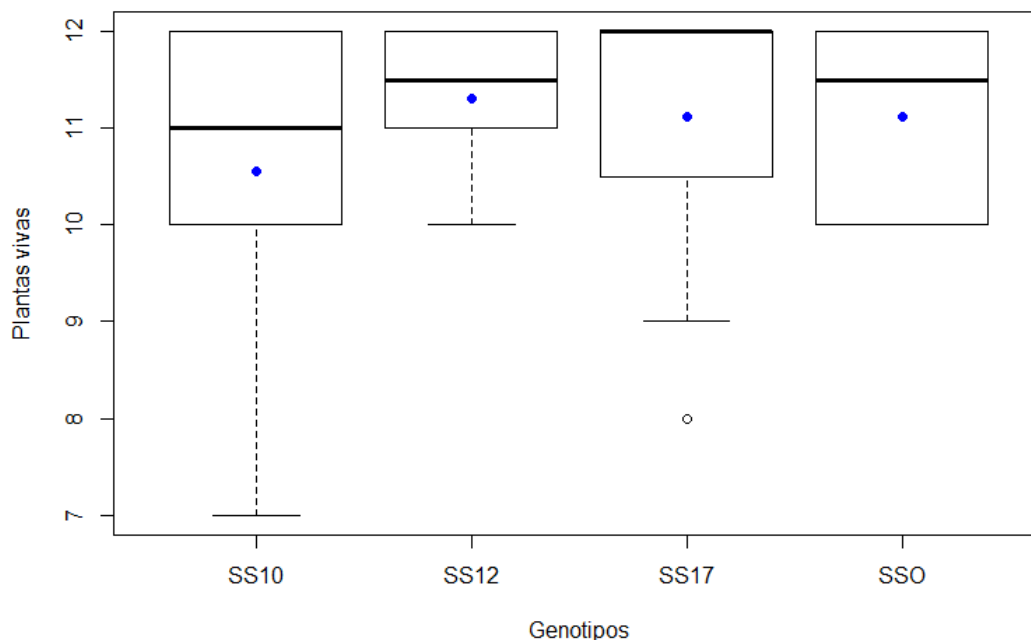
En el gráfico No. 9 de cajas se puede observar la variación dada entre los genotipos y dentro de los genotipos, observándose a simple vista mayor variación en sobrevivencia para el clon SS10 y una menor variación para el clon SS12, siendo el clon SS17 intermedio entre ambos. La sobrevivencia esta expresada en proporción, denotándose el menor valor en 0.6 para el tratamiento 9 y 12 (clon SS10). Se puede decir que todos los tratamientos presentan altos porcentajes de sobrevivencia, ya que las medianas de 12 tratamientos son mayores o iguales a 0,9, salvo el tratamiento 10. Respecto a las medias todas son superiores a 0.8, en todos los casos la media es inferior a la mediana, salvo el tratamiento 8 y 10.

Cuadro No. 12. Proporción de vivos y desvíos, según tratamiento

Trat.	Clon	Tubete	P=vivos/total	desvío
1	SS17	F63	0,979166667	0,03858
2	SS17	104	0,958333333	0,06299
3	SS17	B77	0,90625	0,06954
4	SS17	B96	0,864583333	0,1539
5	SS12	F63	0,947916667	0,062
6	SS12	104	0,947916667	0,062
7	SS12	B77	0,947916667	0,07634
8	SS12	B96	0,927083333	0,06954
9	SS10	F63	0,875	0,1543
10	SS10	104	0,885416667	0,10854
11	SS10	B77	0,90625	0,11302
12	SS10	B96	0,854166667	0,13176
13	SSO	bandeja	0,927083333	0,08259

Se observa el mayor valor de desvío para el clon SS10, a su vez presenta en promedio las menores proporciones de sobrevivencia. El tratamiento 4 presenta una alta variación en sus observaciones así como una menor proporción de vivos en comparación con los demás. El clon SS17 presenta una pequeña variación en sus desvíos salvo el tratamiento 4. El clon SS12 es el de menor varianza y se puede observar mediante la similitud en sus desvíos. El testigo de semilla presenta alta proporción de vivos y un desvío intermedio entre los demás clones.

Gráfico No. 10. Supervivencia a campo, según genotipos



El genotipo con mayor número de vivos corresponde al SS17 ya que el 50% superior de sus observaciones presentan 100% de plantas vivas (12 plantas por tratamiento). El clon SS12 presenta alta supervivencia, el 50% de los datos superiores contienen más de 11 plantas vivas, es decir una supervivencia mayor al 92% y a su vez es el de menor varianza. El clon SS10 presenta en un 50% de los datos superiores 11 plantas vivas, es decir un 91,6% de supervivencia, pero su varianza es mayor respecto a los demás. El testigo de semilla SSO presenta alta supervivencia. Las medias de cada genotipo está por debajo de la mediana y sus valores son mayores a 10 plantas vivas por genotipo. En resumen, se destaca el alto valor de supervivencia para todos los genotipos ya que presentan una mediana superior al 91 %, es decir el 50% de las observaciones superiores superan las once plantas vivas por tratamiento y las medias de todos los genotipos superan las 10 plantas vivas, las diferencias están dadas debido a sus varianzas.

4.2.2. Análisis estadístico

Se determinó la sobrevivencia en plantación de los tres clones de *Eucalyptus grandis*, mediante un modelo lineal generalizado asumiendo una distribución quasibinomial de la variable aleatoria, es decir a la cantidad de plantas (número fijo) se restaron las muertas a campo y se trabajó a partir del total de plantas vivas.

Los resultados del modelo permiten asumir que existe un efecto significativo del factor clon evaluado sobre la sobrevivencia de las plantas a los 4 meses de instalado a campo para esta especie en cuestión. De acuerdo al análisis de varianza realizado, se obtuvo diferencia entre los clones con un p-valor $< 0,05$. No existiendo una interacción entre los factores clon, tubete.

Cuadro No.13. Resultados ANAVA para E.grandis

	Df	SumSq	MeanSq	Fvalue	Pr(>F)
bloque	1	2.032	2.0317	1.4417	0.23328
clon	2	9.750	4.8750	3.4593	0.03606 *
tubete	3	5.917	1.9722	1.3995	0.24878
clon:tubete	6	5.333	0.8889	0.6308	0.70522
residuals	83	116.968	1.4093		

Cuadro No. 14. Contrastes según clones

contrast	estimate	SE	df	z.ratio	p.value
SS10 - SS12	-0.80664252	0.3238091	NA	-2.49110543	0.0340
SS10 - SS17	-0.77153676	0.3493859	NA	-2.20826501	0.0698
SS12 - SS17	0.03510575	0.3945989	NA	0.08896566	0.9956

P valor < 0.05 se rechaza H_0 con un 95 % de confianza.

Se observa que la única diferencia estadísticamente significativa está dada entre los clones SS10 y SS12, siendo el clon SS12 el de mayor sobrevivencia respecto al clon SS10, entre los demás clones no existen diferencias significativas, asumiendo igualdad de sobrevivencia entre los clones SS10 y SS17 y entre los clones SS12 y SS17.

4.3. VOLUMEN A CAMPO

4.3.1. Estadística descriptiva

Los resultados para esta variable proporcionaron un promedio de 265 $\text{dm}^3/\text{hectárea}$, un desvío de 68,58 $\text{dm}^3/\text{hectárea}$ con respecto a la media y 162 $\text{dm}^3/\text{hectárea}$ y 414,69 $\text{dm}^3/\text{hectárea}$ como valores mínimo y máximo respectivamente. Se puede observar los máximos valores de volumen por hectárea para los tubetes 104 y B77.

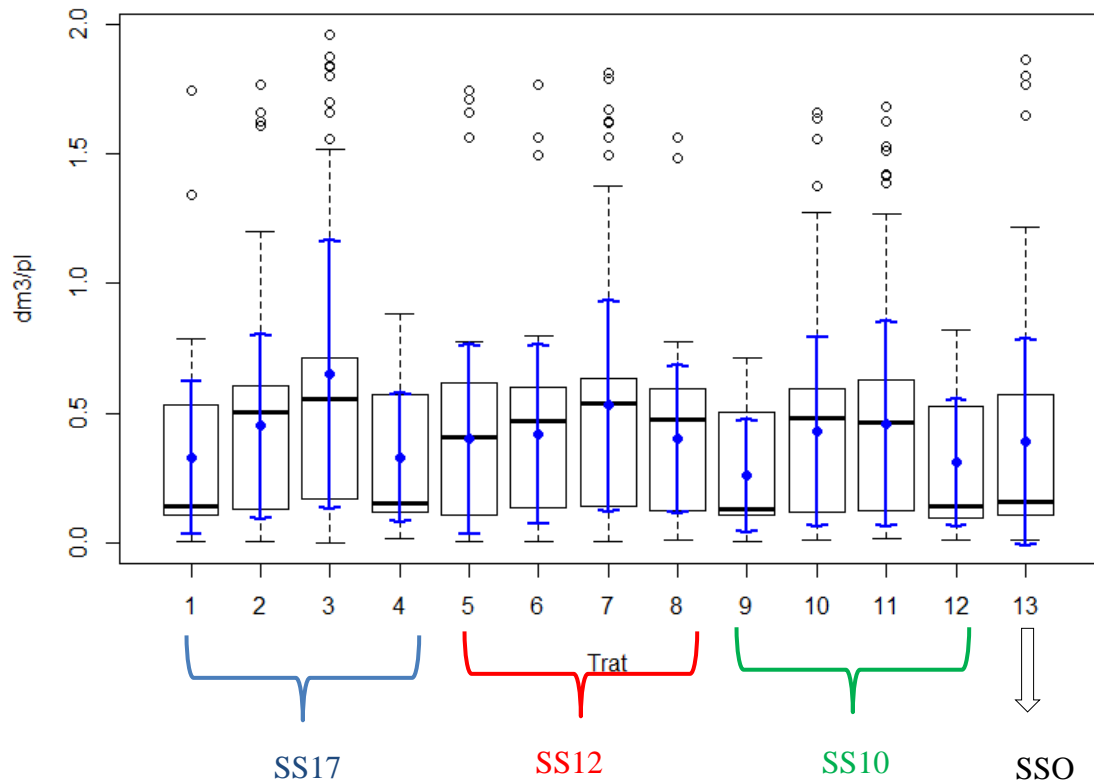
Cuadro No. 15. Volumen por hectárea según tratamiento

Clon	Tubete	Trat.	Vol. $\text{dm}^3/\text{ha./trat.}$
SS17	F63	1	223,1413399
SS17	104	2	304,9136321
SS17	B77	3	414,6971289
SS17	B96	4	199,5068861
SS12	F63	5	267,2735761
SS12	104	6	276,7565359
SS12	B77	7	353,93324
SS12	B96	8	256,8423203
SS10	F63	9	162,0127218
SS10	104	10	267,6383053
SS10	B77	11	290,397409
SS10	B96	12	183,531746
SSO	bandeja	13	245,1709851

Cuadro No. 16. Parámetros promedio por hectárea según volumen a campo.

$\text{dm}^3/\text{ha.}$	
promedio	265
desvío	68.58
Mínimo	162
Máximo	414.69

Gráfico No. 11. Volumen a campo por planta según tratamiento



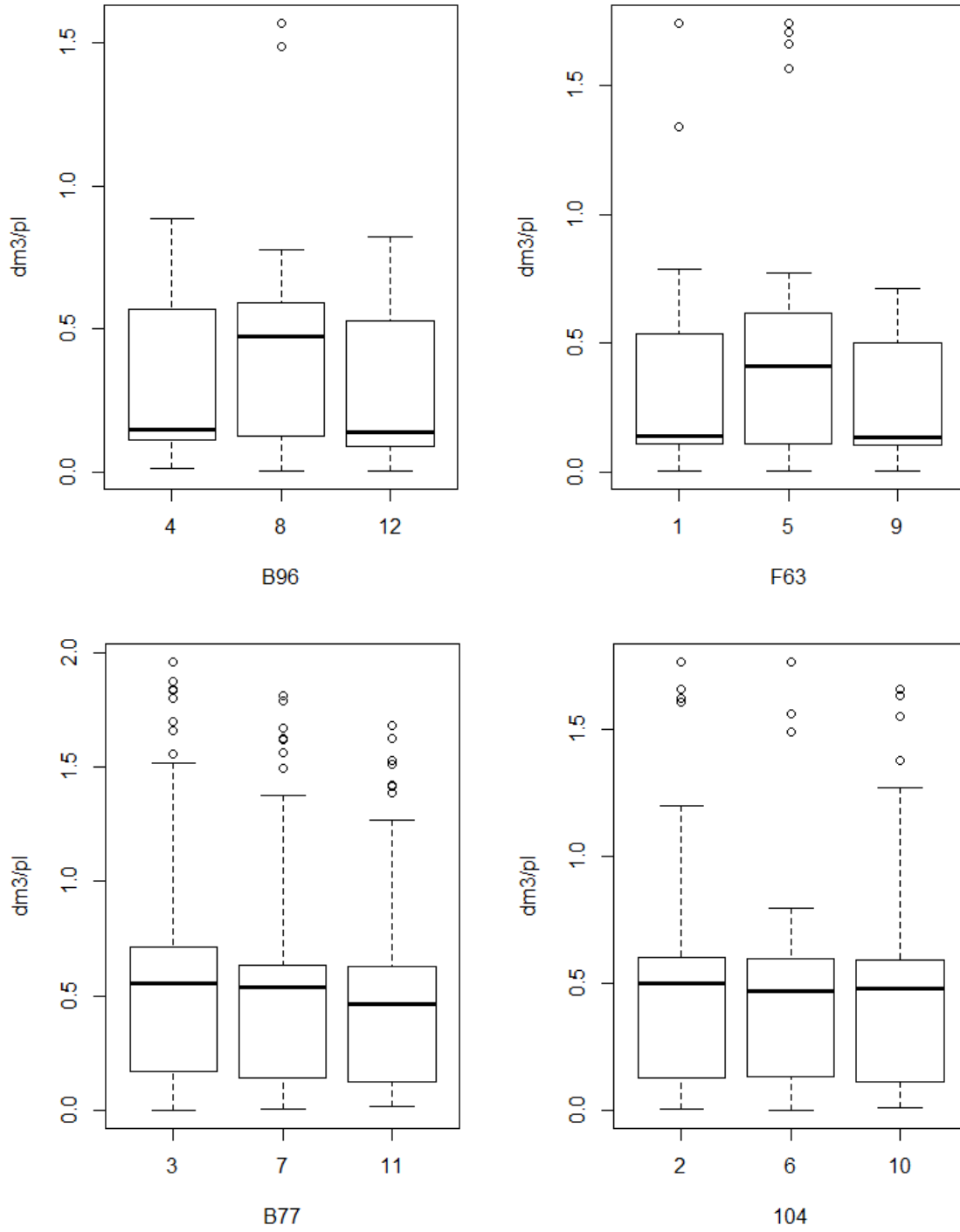
Se observa las medianas de los tratamientos 1, 4, 9, 12 y 13 que se encuentran muy por debajo de la media, en los demás tratamientos la media se encuentra próxima a la mediana y los mayores desvíos corresponden a los tratamientos 3, 7 y 11.

Cuadro No. 17. Desvíos $\text{dm}^3/\text{planta}$, según tratamiento

Tubete	Clon	Trat.	desvío $\text{dm}^3/\text{pl.}$
M104	SS17	2	0,358230219
M104	SS12	6	0,353311963
M104	SS10	10	0,366882678
B77	SS17	3	0,515416101
B77	SS12	7	0,411559865
B77	SS10	11	0,403741738
B96	SS17	4	0,248424033
B96	SS12	8	0,29373489
B96	SS10	12	0,249298738
F63	SS17	1	0,299178361
F63	SS12	5	0,36996153
F63	SS10	9	0,216254768
Bandeja	SSO	13	0,400016906

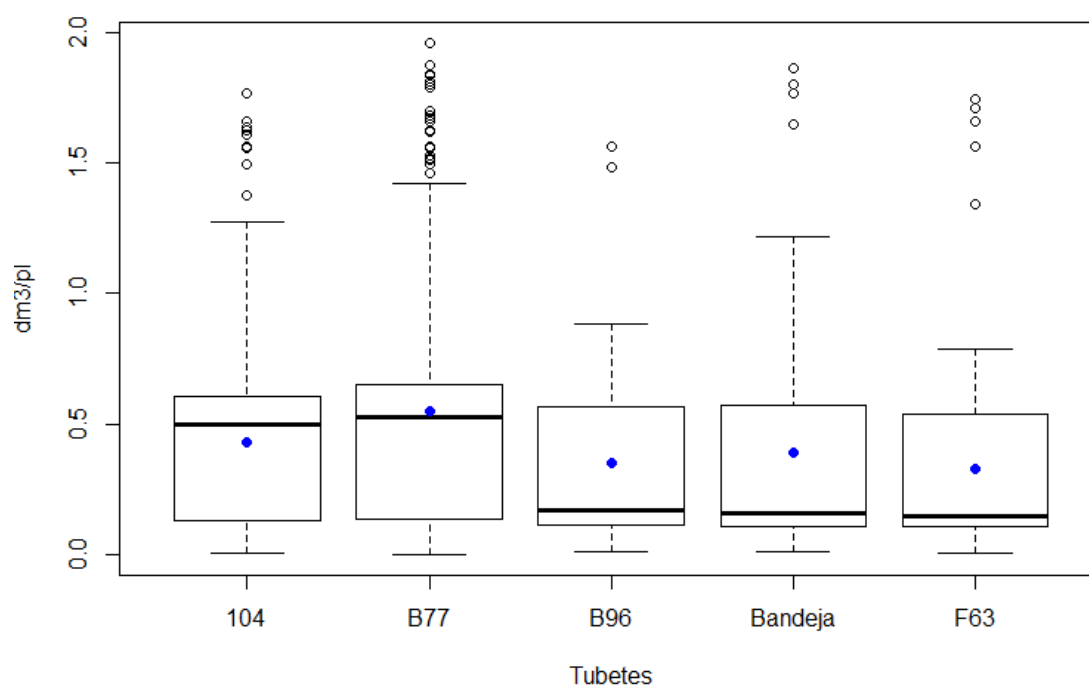
Se puede observar un menor desvío en los tratamientos correspondientes al tubete B96 y una menor variación para el tubete M104 debido a la igualdad de sus desvíos. El tubete B77 presenta mayor desvío.

Gráfico No. 12. Volumen por planta según tubete y tratamiento



Se observa una mayor similitud en la mediana para los tubetes 104 y B77, centrándose el 50 % de las observaciones superiores alrededor del $0,5 \text{ dm}^3/\text{planta}$, en cambio los tubetes B96 y F63 presentan una mayor diferencia respecto a sus medianas, siendo este valor menor a $0,5 \text{ dm}^3/\text{pl}$.

Gráfico No. 13. Volumen por planta según tubete



Se observa que los valores de medianas superiores pertenecen a los tubetes 104 y B77, los demás tubetes conjuntamente con la bandeja presentan menores valores de medianas sin diferencias aparentes. La media del tubete B77 es superior a las demás y los valores de medias de los tubetes B96, F63 y bandeja son similares y superiores a sus respectivas medianas.

4.3.2. Análisis estadístico

Según el análisis estadístico arrojado por el análisis de varianza, existen diferencias entre los tubetes, no habiendo diferencias entre los clones y no existiendo interacción clon*tubete.

Cuadro No. 18. Resultados ANAVA para *E.grandis*

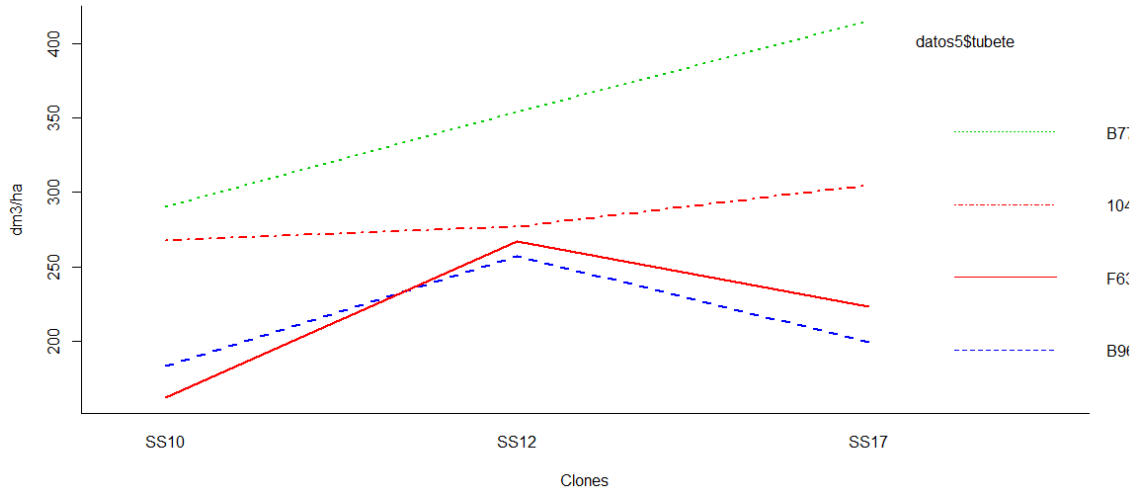
Fuente variación	DF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	960	505.7037	<.0001
bloque	7	77	6.2681	<.0001
clon	2	77	1.6745	0.1942
tubete	3	77	7.7403	0.0001
clon:tubete	6	77	0.8213	0.5568

Cuadro No. 19. Contrastes según tubetes

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
104 - B77	-0.11717586	0.05237114	77	-2.237	0.1224
104 - B96	0.09348142	0.05253634	77	1.779	0.2911
104 - F63	0.10620385	0.05233430	77	2.029	0.1863
B77 - B96	0.21065728	0.05257788	77	4.007	0.0008
B77 - F63	0.22337972	0.05237603	77	4.265	0.0003
B96 - F63	0.01272243	0.05254092	77	0.242	0.9950

Mediante el análisis de contrastes para tubetes se pueden ver las diferencias entre los mismos. EL tubete B77 se diferencia estadísticamente ($p_{\text{valor}} < 0,05$) de los tubetes B96 y F63, siendo superior a éstos, no diferenciándose del tubete 104. Pero a su vez el 104 no se diferencia de los demás.

Gráfico No. 14. Volumen por hectárea



Se observa la superioridad en volumen por hectárea en crecimiento de planta a campo de los tubetes B77 y 104 y los menores valores para los tubetes F63 y B96.

5. CONCLUSIONES

Considerando la primera hipótesis planteada en la etapa de vivero existe una interacción significativa entre los tubetes y clones evaluados, es decir cada nivel de factor está dependiendo del nivel del otro factor; dada la existencia de la interacción no se puede analizar los factores por separado.

De acuerdo al estudio de contrastes el clon SS10 no obtuvo diferencias en índice de robustez con los distintos tubetes. El clon SS12 obtuvo el mejor índice de robustez con el uso de los tubetes B96 y F63. El clon SS17 obtuvo el mejor índice de robustez mediante los tubetes F63 y M104.

El tubete B77 presenta los peores (mayores) valores de IR para todos los clones. El clon SS17 presenta para todos los tubetes evaluados los peores (mayores) valores de IR.

Según la bibliografía el índice de robustez debe ser menor a 6, en este caso todos los valores promedios son mayores al mismo, por lo que surge la necesidad de plantearnos si en realidad este valor de índice se ajusta a Uruguay al género en estudio, en este caso *Eucalyptus sp.* ya que los estudios presentados se basaron en México sobre *Pinus sp.* o los plantines eran muy mayores en el momento del ensayo.

Considerando la etapa de campo en lo que se refiere a sobrevivencia de acuerdo al análisis estadístico existe un efecto significativo del factor clon evaluado sobre la sobrevivencia de las plantas a los 4 meses de instalado a campo; las diferencias están dadas entre el clon SS12 y el clon SS10 siendo el clon SS12 el de mayor sobrevivencia respecto al clon SS10, el clon SS17 no se diferencia de ambos clones.

Respecto a volumen a campo los resultados para esta variable proporcionaron un promedio de 265 dm³/hectárea, con un desvío de 68,58 dm³/hectárea y 162 dm³/hectárea y 414, 69 dm³/hectárea como valores mínimo y máximo respectivamente. Se encontraron diferencias entre los tubetes, no habiendo diferencias entre los clones y no existiendo interacción clon*tubete.

Se obtuvieron los máximos valores de volumen por hectárea para los tubetes 104 y B77. EL tubete B77 se diferencia de los tubetes B96 y F63, siendo superior a éstos, no diferenciándose del tubete 104. Pero a su vez el 104 no se diferencia de los demás.

El testigo de semilla obtuvo los mayores (peores) valores de índice de robustez y los menores valores de volumen a campo, en sobrevivencia a campo obtuvo valores intermedios a los demás tratamientos.

Considerando el objetivo central de este trabajo que refiere el testear los diferentes tubetes y clones para determinar su mejor comportamiento en la etapa de vivero y campo, se recomienda para vivero el uso de los tubetes según el clon a utilizar. El comportamiento del clon SS10 no está determinado por ninguno de los tubetes evaluados, en cambio el clon SS12 mejora su calidad de plantín con el uso de los tubetes de menor tamaño (volumen) B96 (65ml) y F63 (70ml), mejorando su relación DAC/altura, tomando como referencia de calidad de planta únicamente dichos parámetros. El clon SS17 mejora su calidad de planta con el uso de los tubetes de volúmenes intermedios siendo el F63 y M104 con capacidad de 70 y 90 ml respectivamente. El tubete de mayor volumen B77 (105ml) resultó disminuir la calidad de planta en comparación a los demás.

Al analizar el DAC por separado se obtuvieron resultados superiores con el uso de tubetes de mayor volumen, en este caso el 104 (90 ml) y el B77 (105ml).

De acuerdo a sobrevivencia a campo no se encontró una respuesta según el tubete a emplear. Las diferencias halladas dependían del clon a utilizar. El clon SS12 fue el de mejor supervivencia en términos absolutos y estadísticos. De acuerdo a la bibliografía la supervivencia está muy correlacionada con la calidad de plantín, en especial el DAC, pero en este caso la supervivencia no estuvo dada por su calidad de plantín (expresada en índice de robustez) sino directamente al genotipo a utilizar. Pero en general todos los tratamientos presentaron altos porcentajes de sobrevivencia.

Los resultados de volumen a campo demuestran que con volúmenes mayores de tubetes se obtienen volúmenes superiores a campo, es decir existe una relación entre el tamaño del tubete y el volumen en plantación a los 4 meses de instalado. Los tubetes de mayores volúmenes son B77 (105ml) y 104 (90ml). Esto también se corresponde a la etapa de vivero donde los mismos tubetes presentaron valores de DAC y altura superiores a los demás.

En este caso el índice de robustez no se reflejó en supervivencia y crecimiento a campo ya que tubetes con mayores valores de IR (peores) presentaron los mayores volúmenes a campo y la supervivencia estuvo relacionada con el genotipo.

6. RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del Programa de Investigación y Desarrollo de la empresa Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima (COFUSA) cuya finalidad es la evaluación del efecto de diferentes tipos de envases utilizados en el vivero Ceballos y el efecto de una posible interacción con distintos tipos de clones de la especie *Eucalyptus grandis*. Los envases se diferencian en si básicamente por el tamaño (volumen). El ensayo consta de cuatro diferentes tipos de envases F63, 104, B77, B96 y tres clones comerciales de *Eucalyptus grandis*, SS17, SS12 y SS10. Además de un testigo de semilla SS0 sembrado en bandeja. Los objetivos específicos son la evaluación del crecimiento en vivero de los plantines de distintos clones de *Eucalyptus grandis*. La evaluación del crecimiento inicial de los distintos clones de *Eucalyptus grandis* en los primeros 4 meses de crecimiento a campo. La evaluación de la interacción entre los distintos envases y los clones de dicha especie a la salida del vivero y durante los 4 primeros meses de crecimiento a campo conjuntamente con la evaluación del índice de sobrevivencia a la misma fecha de evaluación de crecimiento a campo. Como resultado del análisis estadístico existe una interacción significativa entre los tubetes y clones evaluados, dada la existencia de la interacción no se puede analizar los factores por separado. Considerando la etapa de campo en lo que se refiere a sobrevivencia de acuerdo al análisis estadístico existe un efecto significativo del factor clon evaluado sobre la sobrevivencia de las plantas. Todos los tratamientos presentan altos porcentajes de sobrevivencia. Respecto a volumen a campo según el análisis estadístico existen diferencias entre los tubetes, no habiendo diferencias entre los clones y no existiendo interacción clon:tubete. Se obtuvieron los máximos valores de volumen por hectárea para los tubetes 104 y B77. El testigo de semilla obtuvo los mayores (peores) valores de índice de robustez y los menores valores de volumen a campo, en sobrevivencia a campo obtuvo valores intermedios a los demás tratamientos.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*; Envase; Volumen; Sobrevivencia.

7. SUMMARY

This work is part of the Programme for Research and Development for Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima (COFUSA) aimed at evaluating the effects of different types of nursery containers used in the nursery Ceballos and the effect of a possible interaction with different clones of the species *Eucalyptus grandis*. The nursery containers are different in size (volume). The test consists of four different types of containers: F63, 104, B77, B96 and three commercial clones of *Eucalyptus grandis*, SS17, SS12 and SS10. Also a control of seed called SSO which was sown in tray. The specific objectives are to analyze the growth of different clones of *Eucalyptus grandis* in nursery, to analyze the evaluation of initial growth of the different clones of *Eucalyptus grandis* in the first 4 months of growth in the field, to analyze the interaction between different containers and clones from the nursery and the first 4 months of field growth together with the analyze of survival index. As a result of statistical analysis there was a significant interaction between containers and evaluated clones; given the existence of interaction the factors cannot be separately analyzed. Considering the field survival phase, according to statistical analysis, there is a significant effect of the clone factor in the survival of plants. All treatments present high survival percentages. Regarding volume, statistical analysis shows that there are differences between containers, not showing differences among clones and not showing clone – container interaction. The maximum values of volume per hectare were obtained for containers 104 and B77. The control obtained the highest (worst) index values of robustness and the lowest value of volume, in addition, the obtained survival index has intermediate values to other treatments.

Keywords: *Eucalyptus grandis*; Container; Volume; Survival.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Badilla, V. Y.; Murillo, G. O. 2005. Enraizamiento de estacas de especies forestales. (en línea). Kurú Revista Forestal (Costa Rica). 2 (6): 1-6. Consultado 26 dic. 2014. Disponible en http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior6/pdf/Solucion%201.pdf
2. Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Casanoves, F.; Di Rienzo, J. A.; Robledo, C. W. 2008. Infostat, software estadístico; manual del usuario. (en línea). Córdoba, Brujas. 336 p. Consultado 15 nov. 2015. Disponible en <http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/file/3119766/manual>
3. Barner, H.; Ditlevsen, B.; Olesen, K. 1992. Introducción al mejoramiento genético forestal; nota de clase no. D. 1. (en línea). In: Manual técnico. Humlebaek, Dinamarca, Danida Forest Seed Centre. pp. 19-42 (Serie técnica no. 14). Consultado 22 dic. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0023S/A0023s04.pdf>
4. Bennadji, Z. 2007. Proyectos de Investigación INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción Forestal. Revista INIA. no. 12: 34-36.
5. Bossi, J.; Navarro, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la Republica. pp. 463-966.
6. _____; Ferrando, L.; Montaña, J.; Campal, N.; Morales, H.; Gancio, F.; Schipilov, A.; Piñeyro, D.; Sprechman, P.; Campal, E. 1998. Geocarta; carta geológica del Uruguay. Montevideo, Geo Editores. Esc. 1:500.000. Color. 1 disco compacto.
7. Brussa, C. A. 1994. Eucalyptus. Montevideo, Hemisferio Sur. 328 p.
8. Buamscha, G.; Contardi, L.; Dumroese, R.; Enricci, J.; Escobar, R.; Gonda, H.; Jacobs, D.; Landis, T.; Luna, T.; Mexal, J.; Wilkinson, K. 2012. Producción de plantas en viveros forestales. (en línea). Buenos Aires, AR, Consejo Federal de Inversiones (CFI). 193 p. Consultado 03 ene. 2015. Disponible en http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf
9. Castaño, J. s.f. Contenedores de crecimiento BCC. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 02 ene. 2015. Disponible en http://www.bccab.com/admin/files/sd_eshop/Growing%20containers%20webb.pdf

10. _____; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).

11. Cornelius, J. P. 1994. Introducción al mejoramiento genético forestal. (en línea). In: Cornelius, J. P.; Mesén, J. F.; Corea, E. A. eds. Manual sobre mejoramiento genético forestal; con referencia especial a América Central. (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 1-10. Consultado 22 dic. 2014. Disponible en http://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=lt4OAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=mejoramiento+genetico+forestal&ots=CPeZRAhRqg&sig=bJfRwJjH4NIXcavdz0yCwUKIUYk&redir_esc=y#v=onepage&q=mejoramiento%20genetico%20forestal&f=false

12. Castejón, S. O. 2011. Diseño y análisis de experimento con Statistix. (en línea). Maracaibo, Universidad Rafael Urdaneta. Fondo Editorial Biblioteca. 197 p. Consultado 08 feb. 2015. Disponible en <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/occompleto.pdf>

13. Ihaka, R.; Gentleman, R. 1996. R; a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 5: 299–314

14. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agroclima y Sistemas de Información, UY). s.f. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 23 dic. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/index.htm

15. Landis, T. D. 1990. Contenedores y medios de crecimiento. (en línea). In: Landis, D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. eds. Manual de vivero para la producción de especies forestales en contenedor. Washington, D. C., USDA. cap. 2, pp. 1-85. Consultado 05 ene. 2015. Disponible en https://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.agro.unlp.edu.ar%2Fcursos%2Fpluginfile.php%2F9674%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2FBibliografia%20Clase%202%20y%203%2FManual_Vivero_Forestal%2FVol_2%2Fsustratos.pdf%3Fforcedownload%3D1&ei=7TKwVODzFfKLSQTJ54DIBw&usg=AFQjCNGTszGOH-fLHSN8KyPgTWNvjePIMg

16. Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales; uso de propagadores de subirrigación. Turrialba, CR, CATIE. 36 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 30).

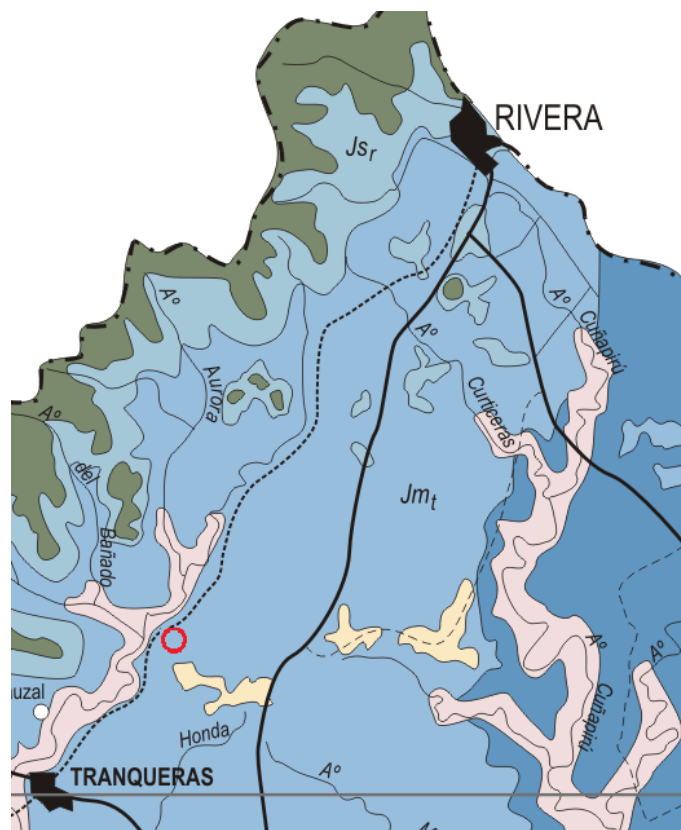
17. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2012. Superficie total de bosques (cartografía 2012); actualización de la cartografía forestal del Uruguay (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 22 mar. 2015. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,20,441,O,S,0,MNU;E;134;2;MNU;,>
18. _____. DGRNR (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. División Suelos y Aguas, UY). s.f. Descripción de grupos de suelos CO.N.E.A.T. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado 23 mar. 2015. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/media/Descripci%C3%B3n-de-Grupos-de-Suelos-CONEAT-1.pdf>
19. _____. _____ (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, UY). 2006. Actualización de la carta forestal del Uruguay con imágenes del año 2004. (en línea). Montevideo. 27 p. Consultado 22 mar. 2015. Disponible en http://www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001/File/CARTA_FORESTAL2004.pdf
20. _____. _____. PRENADER. s.f. Visualizadores gráficos y web map service (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 23 mar. 2015. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat/viewer.htm?Title=CONEAT%20Digital>
21. Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. 2a. ed. México, D.F., Limusa. 686 p.
22. Naval, M. s.f. El vivero forestal; guía para el diseño y producción de un vivero forestal de pequeña escala de plantas en envase. (en línea). Santiago del Estero, INTA. s.p. Consultado 22 dic. 2014. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/el-vivero-forestal/>
23. Ruano Martínez, J. R. 2008. Viveros forestales; manual de cultivo y proyectos. 2ª ed. Madrid, Mundi- Prensa. 285 p.
24. Saénz Reyes, J. T.; Villaseñor Ramírez, F. J.; Muñoz Flores, H. J.; Rueda Sánchez, A.; Prieto Ruiz, J. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. (en línea). Uruapan, Michoacán, MX, SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. 48 p. (Folleto Técnico no. 17). Consultado 15 feb.2015. Disponible en

<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1289/CALIDAD%20DE%20PLANTA%20EN%20VIVEROS%20FORESTALES%20DE%20CLIMA%20TEMPLADO%20EN%20MICHOACAN.pdf?sequence=1>

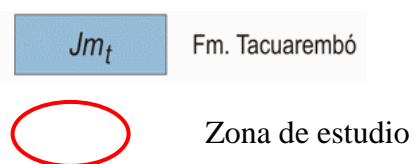
25. Serrada, R. 2000. Apuntes de repoblaciones forestales. (en línea). Madrid, España, s.e. s.p. Consultado 03 ene. 2015. Disponible en <http://www.secforestales.org/web/images/serrada/v1textoviveros.pdf>
26. Tamosiunas, M. 2011. Complejo forestal. In: Vasallo, A. ed. Dinámica y competencia intrasectorial en el agro; Uruguay 2000-2010. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 105-124.
27. Trujillo, E. 1995. Manejo de semillas forestales; guía técnica para el extensionista forestal. (en línea). Turrialba, CR, CATIE. 49 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 17). Consultado 22 dic. 2014. Disponible en http://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=0axcA6QJGLgC&oi=fnd&pg=PR3&dq=reproduccion+sexual+en+mejoramiento+genetico+forestal&ots=j58yasbKN0&sig=2-BG0NgOY4Fa_dOLAjxLWewZI1M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
28. Trujillo, I. 2000. Técnicas de clonación en *Eucalyptus grandis*. Forestal. 4 (14): 11-13.
29. Wendling, I. 2003. Propagação vegetativa. I semana do estudante universitario. (en línea). s.l., EMBRAPA. Florestas e Meio Ambiente. 6 p. Consultado 27 dic. 2014. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf>
30. Willan, K.; Barner, K. O. Y. H. 1993. La variación natural como base del mejoramiento genético forestal. (en línea). Humleback, Dinamarca, s.e. s.p. (Nota de clase no. 3). Consultado 22 dic. 2014. Disponible en <http://www.sidalc.net/REPDOC/A0023S/A0023S03.PDF>
31. Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. New York, John Wiley and Sons. 505 p.
32. _____.; _____. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Carta geológica de la zona (Paso Ataques, Rivera).



Fuente: Bossi y Navarro (1988)



Anexo No. 2. Ubicación del predio y unidades de suelo (esc. 1:1.000.000)



Fuente: MGAP. RENARE (s.f.).

Anexo No. 4. Fotos de la instalación del ensayo a campo







