

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO COMBINADO DE DISTINTOS ENVASES Y CLONES  
COMERCIALES DE *Eucalyptus grandis*, EN CRECIMIENTO A CAMPO

por

José Alexander ROJAS VARELA  
Martín SCREMINI OHOLEGUY

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

-----  
Ing. Agr. Fernando Irisity

-----  
Lic. Est. Inés Berro

-----  
Ing. Agr. María O'Neill

Fecha: 24 de febrero de 2017

Autores:

-----  
José Alexander Rojas Varela

-----  
Martín Scremini Oholeguy

## AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos a todo el equipo docente del departamento de producción forestal y tecnología de la madera, en especial, al Ing. Agr. (MSc.) Luis Gallo por brindarnos sus conocimientos, guiarnos como tutor y su disponibilidad en todo momento. Agradecer a la Lic. Est. Inés Berro del Departamento de Biometría y Bioestadística por su colaboración, conocimientos y disponibilidad a la hora de evacuar dudas.

También el agradecimiento a la empresa COFUSA, principalmente a la Ing. Agr. María O'Neill por la oportunidad de realizar este trabajo y brindarnos toda la información requerida, además del equipo y personal para llevar a cabo la tarea de campo.

José: en primer lugar, agradecer a mis padres Cristina y Pantaleón, a mis hermanas Victoria y Micaela, los cuales siempre me han brindado su apoyo e hicieron posible la realización de mis estudios, por la educación que me brindaron y los valores que me transmitieron. Agradezco a Alfonsina, por estar siempre y apoyarme en cada momento. A mi compañero y amigo Martín, por ser una gran persona y compartir este trabajo final, dedicándole mucho tiempo y esfuerzo.

Martín: en primer lugar, agradecer a mis padres Rafael Scremini y Gabriela Oholeguy, que hicieron posible la realización de mis estudios brindándome su apoyo en todo momento, y por la educación que gracias a ellos pude recibir. Un agradecimiento especial a mi abuela María Harán, con la que conviví 4 años durante mi estadía en Montevideo y sin ella todo hubiera sido más difícil. A mi compañero de tesis y amigo José, fue un placer haber compartido este año de trabajo con él y por toda la dedicación y compromiso que le puso a la tesis.

## 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> .....	2
2.1. <u>MEJORAMIENTO GENÉTICO</u> .....	2
2.1.1. <u>Conceptos y objetivos del mejoramiento genético forestal</u> .....	2
2.1.2. <u>Variabilidad</u> .....	2
2.1.3. <u>Selección</u> .....	3
2.2. <u>PROPAGACIÓN</u> .....	4
2.2.1. <u>Propagación sexual</u> .....	4
2.2.2. <u>Propagación vegetativa</u> .....	4
2.2.2.1. <u>Métodos de propagación</u> .....	5
2.3. <u>ENVASES</u> .....	6
2.3.1. <u>Características de los envases que afectan el crecimiento</u> .....	7
2.3.1.2. <u>Orificio de drenaje</u> .....	8
2.3.1.3. <u>Sistema de antiespiralamiento radicular</u> .....	8
2.3.2. <u>Envases de una sola utilización</u> .....	9
2.3.2.1. <u>Bolsas de polietileno</u> .....	9
2.3.2.2. <u>Macetas</u> .....	9
2.3.2.3. <u>Contenedores plantados con la planta</u> .....	9
2.3.3. <u>Envases que se usan varias veces</u> .....	10
2.3.3.1 <u>Celdas individuales sostenidas por un portacontenedores</u> .....	10
2.3.3.2 <u>Contenedores en bloque</u> .....	10
2.3.3.3 <u>Bandejas de mini contenedores</u> .....	11
2.3.4 <u>Efecto del envase en el comportamiento en plantaciones</u> .....	11
2.4. <u>SUSTRATO</u> .....	13
2.4.1. <u>Atributos deseables de un buen medio de crecimiento</u> .....	13

2.4.1.1. pH levemente ácido.....	13
2.4.1.2. Alta capacidad de intercambio catiónico .....	14
2.4.1.3. Baja fertilidad natural.....	14
2.4.1.4. Adecuado equilibrio del tamaño de los poros.....	14
2.4.1.5. Libre de plagas y enfermedades .....	15
2.5. GÉNERO <i>EUCALYPTUS</i> .....	15
2.5.1. <u>Distribución geográfica</u> .....	15
2.5.2. <u><i>Eucalyptus</i> en Uruguay</u> .....	16
2.5.3. <u><i>Eucalyptus grandis</i></u> .....	16
2.6. CONCEPTOS DASOMÉTRICOS .....	17
2.6.1. <u>Diámetro</u> .....	17
2.6.2. <u>Altura</u> .....	18
2.6.3. <u>Volumen</u> .....	18
2.7. ÍNDICES MORFOLÓGICOS .....	19
2.7.1. <u>Índice de esbeltez</u> .....	19
2.7.2. <u>Relación tallo/raíz</u> .....	19
2.7.3. <u>Índice de calidad de Dickson</u> .....	20
2.8. CONCEPTOS ESTADÍSTICOS.....	20
2.8.1. <u>Diseño de bloques completos al azar (DBCA)</u> .....	21
2.8.2. <u>Diseño factorial</u> .....	22
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	23
3.1. LOCALIZACIÓN .....	23
3.2. RECURSOS NATURALES .....	23
3.2.1. <u>Geología</u> .....	23
3.2.2. <u>Suelos</u> .....	25
3.3. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	25
3.3.1. <u>Precipitaciones</u> .....	25
3.3.2. <u>Temperatura</u> .....	26
3.3.3. <u>Heladas agrometeorológicas</u> .....	27
3.4. TRATAMIENTOS.....	28
3.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	29

3.6. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	30
3.6.1. <u>Análisis estadístico</u> .....	30
3.6.1.1. Hipótesis .....	30
3.6.2. <u>Análisis descriptivo</u> .....	31
3.6.3. <u>Diseño experimental</u> .....	31
3.6.4. <u>Volumen</u> .....	32
3.6.4.1. Volumen por tratamiento .....	33
3.6.4.2. Modelo estadístico para el volumen .....	33
3.6.5. <u>Índice de esbeltez</u> .....	34
3.6.5.1. Modelo estadístico para índice de esbeltez .....	34
3.6.6. <u>Sobrevivencia</u> .....	34
3.6.6.1. Modelo estadístico para sobrevivencia .....	35
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	36
4.1. VOLUMEN .....	36
4.1.1. <u>Análisis descriptivo</u> .....	36
4.1.2. <u>Análisis estadístico</u> .....	38
4.2. <u>ÍNDICE DE ESBELTEZ</u> .....	39
4.2.1. <u>Análisis descriptivo</u> .....	39
4.2.2. <u>Análisis estadístico</u> .....	39
4.3. SOBREVIVENCIA .....	40
4.3.1. <u>Análisis descriptivo</u> .....	40
4.3.2. <u>Análisis estadístico</u> .....	43
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	45
6. <u>RESUMEN</u> .....	46
7. <u>SUMMARY</u> .....	47
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	48
9. <u>ANEXOS</u> .....	52

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Tratamientos, combinación de clones y tubetes.....	29
2. Volumen de tubetes y bandeja en ml.....	29
3. Volumen por hectárea según tratamiento.....	36
4. Desvío estándar (m <sup>3</sup> /ha) por tratamiento.....	38
5. Resultados ANAVA para volumen en m <sup>3</sup> de <i>E.grandis</i> .....	38
6. Dap promedio, altura promedio e índice de esbeltez promedio y desvío por tratamiento.....	39
7. Resultados ANAVA para Índice de esbeltez.....	39
8. Proporción de vivos y desvíos por tratamiento.....	40
9. Resultados ANAVA para Índice de sobrevivencia.....	43
10. Resultados prueba LSD Fisher para sobrevivencia.....	44
Figura No.	
1. Carta geológica de la zona (Paso Ataques, Rivera).....	24
2. Representación del ensayo.....	31
3. Ubicación de cada bloque.....	32

## Gráfico No.

1. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm), promedio de serie 1978-2016.....	26
2. Caracterización del régimen térmico (°C) INIA Tacuarembó, serie 1978-2016.....	27
3. Ocurrencia de heladas (días de ocurrencia) en INIA Tacuarembó, correspondiente al período 1978-2016.....	28
4. Volumen (m <sup>3</sup> /ha) por tratamiento.....	37
5. Proporción de vivos según tratamiento.....	41
6. Proporción de árboles vivos según tubete.....	42
7. Proporción de vivos según material genético.....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del Programa de Investigación y Desarrollo de la empresa COFUSA (Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima), siendo el objetivo principal la evaluación del efecto de distintos tipos de contenedores utilizados, sobre el crecimiento de árboles (de origen clonal) a nivel de campo para la especie *Eucalyptus grandis*.

Se pretende evaluar las posibles diferencias ocasionadas por la utilización de contenedores de distinto tamaño sobre el rendimiento en volumen aparente de distintos genotipos (clones) y contrastarlos con un testigo producido en bandeja y de origen semilla. También se pretende evaluar si existe interacción entre los clones y los distintos tubetes.

El ensayo se compone de tres clones comerciales de la empresa, SS10, SS12 y SS17, los cuales fueron producidos en cuatros envases diferentes, F63, 104, B77 y B96, además incluye un testigo proveniente de semilla y sembrado en bandeja.

Las mediciones se realizaron los días 11, 12 y 13 de abril de 2016, con la colaboración de personal de la empresa. Se midieron las variables DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura total de los individuos, que a la fecha tenían 1 año y 7 meses de edad.

Los objetivos principales del ensayo son la evaluación del rendimiento en volumen aparente de los distintos genotipos producidos en los diferentes envases y si existe efecto de interacción entre los genotipos y los envases. Como objetivos secundarios se propusieron evaluar la sobrevivencia y el índice de esbeltez, el cual indica la resistencia de los árboles a factores climáticos como el viento.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MEJORAMIENTO GENÉTICO

#### 2.1.1. Conceptos y objetivos del mejoramiento genético forestal

El mejoramiento genético forestal (MGF) consiste en el desarrollo de poblaciones (poblaciones mejoradas) o individuos (individuos mejorados) genéticamente superiores, a partir de poblaciones amplias y diversas (poblaciones base) de especies forestales y su uso operacional como semilla, a partir de poblaciones de producción o clones mediante multiplicación agámica (Marcó, 2005).

El mejoramiento genético forestal pretende identificar la magnitud, clases y causas de la variabilidad dentro de la especie, seleccionar aquellas poblaciones e individuos dentro de la especie con características sobresalientes, agruparlos para que se crucen entre sí y produzcan semillas que generen árboles con características sobresalientes, al igual que los padres que le dieron origen. Al mismo tiempo, es necesario mantener una reserva de material en su estado natural, a la cual se pueda recurrir en el caso que se necesite introducir variabilidad en la población de mejoramiento. Esto se conoce como conservación de los recursos genéticos forestales (Mesén, 1998).

En general, el mejoramiento genético tiene como objetivos maximizar ciertas características como: i) la adaptabilidad de una especie al sitio potencial de plantación, ii) la tasa de crecimiento, iii) la resistencia a enfermedades y iv) la calidad del producto final (Mesén, 1998).

La finalidad de un programa de MGF es la de mejorar las principales características cuantitativas y cualitativas de rendimiento y calidad, así como garantizar la seguridad de cosecha a través de la selección de genes deseables y su perpetuación mediante la utilización de semillas o clones mejorados. Gracias a la mejora genética puede lograrse, entre otras cosas, la mayor productividad/ha, mejor calidad del producto, adaptación a áreas marginales de cultivo, reducción del turno de aprovechamiento y de los costos de establecimiento, cosecha y/o procesos industriales (Marcó, 2005).

#### 2.1.2. Variabilidad

Un programa de MGF utiliza como materia prima la variación, que se manifiesta a través de diferencias entre los individuos de una población. Para la mayoría de las especies forestales de interés existe una gran variabilidad aún no totalmente explorada. Las principales causas de la variación observada en los seres vivos son las debidas a la información genética (diferencias en el complejo hereditario que trajeron los individuos cuando comenzaron sus vidas,

codificadas en el ADN, que constituyen los cromosomas) y al ambiente (medio al cual estuvieron expuestas en el curso de sus vidas). Las primeras son heredables, las segundas solo reflejan una respuesta al ambiente circundante (Marcó, 2005).

Desde el punto de vista teórico, el mejoramiento genético sólo es posible cuando existe variación fenotípica en la población para las características de interés, y esta variación tiene una fuerte componente genética, determinada por el grado de heredabilidad. En este sentido, la variación genética constituye la materia prima del mejoramiento genético (Sotolongo et al., s.f.).

Generalmente las poblaciones naturales de la especie de interés constituyen la población inicial de los programas de mejoramiento genético. Lo anterior implica que uno de los requisitos importantes al inicio de todo programa es el conocimiento de la magnitud y estructura genética de la variación en las poblaciones naturales. De no existir suficiente variación disponible en características de interés en la población natural, es necesario crearla en forma artificial, ya sea mediante hibridación intra o interespecífica, mutación, inducción de poliploidía, o inclusive mediante el uso de técnicas más sofisticadas como la hibridación somática o la ingeniería genética (Sotolongo et al., s.f.).

### 2.1.3. Selección

La silvicultura clonal se basa en la selección de árboles sobresalientes para las características bajo mejoramiento y en su propagación por métodos vegetativos para obtener copias genéticamente idénticas de cada uno, que puedan ser utilizadas en programas de reforestación comercial. Su uso permite la obtención de ganancias genéticas extraordinarias en periodos muy cortos. Sin embargo, para optimizar las ganancias genéticas, se debe prestar cuidado especial a la selección de los árboles (Mesén, 1998).

Como lo mencionan Zobel y Talbert (1984), la selección es más efectiva en la medida en que la variación fenotípica refleje más fielmente la variación genotípica. Esto se logra seleccionando en sitios donde los efectos de las fuentes no genéticas de variación, tales como clima, suelos, edad y agentes bióticos, sean mínimos, de manera que haya mayores posibilidades de que buenos fenotipos correspondan a buenos genotipos. Tomando esto en consideración la selección es más eficiente en plantaciones puras que crecen en sitios homogéneos, donde no hay variación debido a la edad y donde las variaciones ambientales son mínimas; la eficiencia de la selección se reduce en la medida en que aumente la influencia de las fuentes no genéticas de variación, por ejemplo en bosques naturales que crecen en sitios altamente

heterogéneos, donde se presenta la máxima variación ambiental y de edad, y por lo tanto, la menor heredabilidad.

## 2.2. PROPAGACIÓN

El componente no aditivo, constituido por los efectos de interacción alélica dentro y entre loci (dominancia y epistasis), generalmente tiene una menor aportación en la variación genética total. Por otro lado, debido a que el aprovechamiento de este componente requiere mantener intactas las combinaciones alélicas intra e interloci, es necesario desarrollar actividades especiales tales como cruza controladas o propagación vegetativa del material controlado (Sotolongo et al., s.f.).

El material de propagación es la parte de la planta madre que usamos 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 repiten exactamente las características de la planta madre, lo cual es bueno en frutales, e inician la producción de fruta mucho antes que los de semilla (Naval, s.f.).

### 2.2.1. Propagación 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).

### 2.2.2. Propagación vegetativa

Según Wendling (2003), la propagación vegetativa consiste en multiplicar asexualmente partes de plantas (células, tejidos, órganos o propágulos), originando individuos generalmente idénticos a la planta madre. Es una técnica que está siendo cada vez más adoptada a nivel mundial, principalmente por su mayor efectividad en capturar las ganancias genéticas obtenidas de los programas de mejoramiento.

De modo general, entre las principales ventajas de la propagación vegetativa de especies forestales pueden ser citadas la formación de plantaciones clonales de alta productividad y uniformidad, la mejora en la calidad de la madera y sus productos, la multiplicación de individuos resistentes

a plagas y enfermedades, adaptación a sitios específicos y la transferencia de generación a generación de los componentes genéticos aditivos y no aditivos, lo que resulta en una mayor ganancia genética dentro de una misma generación de selección (Wendling, 2003).

Entre las principales desventajas de la propagación vegetativa en especies forestales pueden ser citadas el riesgo de estrechamiento de la base genética de las plantaciones clonales cuando se utilizan poco número de clones, la ausencia de ganancias genéticas adicionales a partir de la primera generación de selección, la dificultad de enraizamiento en algunas especies o clones y en plantas no juveniles (Wendling, 2003).

La propagación vegetativa tiene muchos usos en dasonomía, los que pueden resumirse como sigue: (1) preservación de genotipos mediante el uso de bancos clonales; (2) multiplicación de genotipos convenientes para usos especiales, tales como huertos semilleros o huertos de investigación; (3) evaluación de los genotipos y su interacción con el ambiente a través de pruebas clonales; y (4) obtención de máximas ganancias genéticas al utilizarla para regeneración en programas operativos de plantación (Zobel y Talbert, 1994).

#### 2.2.2.1. Métodos de propagación

La propagación por estacas consiste en cortar brotes, ramas o raíces de la planta, las cuales se colocan en una cama enraizadora, con el fin de lograr la emisión de raíces y brotación de la parte aérea, hasta obtener una nueva planta. No todas las partes vegetativas de la planta arbórea sirven para estacas, las de fácil enraizamiento se obtienen de madera dura y las de difícil enraizamiento de madera tierna. Se define como madera dura, aquellas ramas de uno o más años de edad y madera tierna las ramas menores de un año de edad, que aún se encuentran en proceso de crecimiento y plena actividad fisiológica. Cuando se trate de madera dura, se deben obtener de aquellas ramas más maduras que correspondan a zonas basales de las mismas, debido a que la garantía de su prendimiento es mayor (Rojas et al., 2004).

La injertación consiste en conectar dos pedazos de tejido de dos plantas vivientes que al unirse formarán una nueva planta funcional. Es un método de propagación muy antiguo, en donde la base del injerto o planta receptora (patrón) se selecciona de plantas ya establecidas que son resistentes a condiciones desfavorables y/o enfermedades, a la cual se le une un segmento o injerto proveniente de plantas con cualidades como frutos de mejor calidad y mayor producción. La parte injertada y el área receptora forman un tejido de cicatrización, quedando perfectamente unidas e integradas, de tal manera que hay continuidad en la actividad fisiológica, reiniciándose el crecimiento y

desarrollo del injerto hasta llegar a su etapa reproductiva y productiva, como si fuera un solo individuo. Es de aclarar que no hay recombinación de las características genéticas entre la planta receptora (patrón) y la injertada (copa), es decir que cada una de las partes conserva su condición genética. Este método de propagación también es usado para obtener nuevas variedades, lograr estructuras vegetativas fuertes y vigorizar árboles que son de gran importancia genética y que se encuentren enfermos o dañados por insectos (Rojas et al., 2004).

El principio del acodo es el de colocar una parte del vegetal en condiciones favorables para que emita y desarrolle raíces, es un método fácil, sencillo y seguro de propagación, con el cual se estimula la emisión de raíces en ramas o brotes antes de separarlas de la planta madre. Las raíces que se producen en un acodo tienen el mismo origen que las provenientes de las estacas: Se formarán ya sea a partir de meristemas existentes, donde va a tener lugar una actividad inicial y a continuación una diferenciación celular que conducirá a una reorganización o a partir de los islotes meristemáticos, donde las células se van a diferenciar y dar nacimiento a un meristemo radical y entonces las raíces se podrán desarrollar. Los acodos aéreos se desprenden después de la formación del callo y se enraízan en camas. Aunque existen diversas maneras de realizar el acodo, los más importantes y utilizados son: acodo aéreo, acodo de punta, acodo subterráneo y acodo de cepa (Rojas et al., 2004).

### 2.3. ENVASES

Los plantines deben ser plantados con el menor disturbio y exhibición del sistema radicular posible, para reducir el estrés en plantación y aumentar la sobrevivencia y el crecimiento en el campo (Tinus y McDonald, citados por Soares de Freitas et al., 2008).

El crecimiento a campo será mayor, cuanto mayor sea la dimensión de los plantines en la estación de plantación. Las restricciones al sistema radicular producidas en el vivero limitan el crecimiento, así como reducen el área foliar, la altura y la producción de biomasa (Reis et al., Townend y Dickinson, citados por Soares de Freitas et al., 2008).

La función primaria de cualquier contenedor es la de contener una pequeña cantidad de sustrato, que a su vez abastece a las raíces con agua, aire, nutrientes minerales, y además provee soporte físico mientras la planta está aún en el vivero (Landis, 1990).

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 solo 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 (Buamscha et al., 2012) .

Se utilizan muchos términos para referirse a los contenedores, y algunos pueden intercambiarse. En el ámbito de las plantas ornamentales los contenedores individuales de cierto tamaño se llaman macetas, pero en los viveros forestales se los llama “contenedores o envases”. En cuanto a las actividades de forestación, se suele llamar “*plugs*” a los plantines producidos en contenedores con celdas de volumen pequeño. 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).

### 2.3.1. Características de los envases que afectan el crecimiento

#### 2.3.1.1. Tamaño

Si bien en la jerga común de viveros el tamaño del contenedor significa volumen, el concepto de tamaño incluye también otras dimensiones, como altura, diámetro y forma. El volumen de la cavidad es una de las más obvias e importantes características de un contenedor porque, en general, tanto más grande sea el contenedor, más grande será la planta que puede ser producida en él (Kingham, citado por Landis, 1990).

La mayor restricción en relación al volumen del contenedor es económica, no biológica, porque (a) los contenedores grandes proveen más espacio de crecimiento, (b) las plantas que crecen en contenedores grandes requieren de mayores periodos de tiempo para que su sistema radical ocupe el espacio del contenedor completamente, y (c) los contenedores grandes son más difíciles de cargar durante el embarque y la plantación (Landis, 1990).

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, esta 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).

El diámetro de un contenedor es otro parámetro importante y depende de la especie a ser cultivada en él. Los árboles, arbustos y herbáceas de hojas grandes necesitan un mayor diámetro de contenedor para que el agua de riego pueda atravesar el denso follaje y llegar al sustrato (Buamscha et al., 2012).

Los contenedores están disponibles en una variedad de formas y la mayoría tienen un ahusamiento hacia abajo. La forma del contenedor depende del tipo de sistema radical de la especie a producir y condiciona el tipo de herramienta a usar en la plantación (Buamscha et al., 2012).

#### 2.3.1.2. 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).

#### 2.3.1.3. Sistema de antiespiralamiento radicular

El crecimiento en espiral y otros tipos de deformaciones de las raíces han sido uno de los desafíos más grandes para los viveristas que usan contenedores (Buamscha et al., 2012).

Las raíces de las plantas crecen geotrópicamente, pero si ellas no encuentran obstáculo físico alguno, tienden a crecer lateralmente sobre la superficie del tubete. El crecimiento en espiral dificulta el adecuado establecimiento de la raíz en el suelo, lo cual puede derivarse en pérdida de la verticalidad o incluso estrangulamiento (Burdett, citado por Landis, 1990).

Aunque puede ocurrir en casi todo tipo de contenedor, la raíz en espiral es más severa en contenedores con sección transversal redonda, lisos y de plástico (Landis, 1990).

El problema de espiralamiento de la raíz ha sido parcialmente resuelto con el diseño de contenedores con crestas, costillas o ranuras orientadas verticalmente que sobresalen en el sustrato y representan un obstáculo para el crecimiento radical en espiral (Landis, 1990).

## 2.3.2. Envases de una sola utilización

### 2.3.2.1. 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).

### 2.3.2.2. Macetas

Las macetas de plástico negro o de lata son los contenedores más usados para producir plantas ornamentales en vivero. 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).

### 2.3.2.3. Contenedores plantados con la planta

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 desarrollará el sistema radical. Los de mayor tamaño permiten el desarrollo completo de la planta y posteriormente se llevan directamente al campo. Las cápsulas 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 extenso período de tiempo (Buamscha et al., 2012).

Uno de los contenedores más exitosos, que todavía se utiliza y que es plantado junto con la planta, es el paperpot. Las macetas paperpot son tubos de papel que carecen de fondo y tienen sección transversal hexagonal, los cuales están interconectados a través de un diseño en panal. Están compuestos por un papel especial, el cual es una mezcla de papel de fácil descomposición y fibras que resisten la descomposición. Cada maceta de papel individual es sellada con pegamento insoluble para formar un tubo hexagonal abierto. Las macetas

de papel están interconectadas con otras macetas por medio de un pegamento hidrosoluble, que lentamente se va solubilizando durante el período de vivero, de tal forma que los contenedores individuales quedan separados justo antes de la plantación. Las secciones plegadas como acordeón de las macetas de papel son embarcadas así, y deben de ser desplegadas dentro de una bandeja de plástico duro antes de ser llenadas y de realizarse la siembra. Una de las principales preocupaciones en relación a la maceta de papel es su pobre control sobre la forma de la raíz (Landis, 1990).

El Sistema Ellepot es un sistema de propagación único útil en la propagación de estacas y semillas de plantas florales, arbustos, árboles, frutales y productos de vivero. El Ellepot está hecho con papel ecológico degradable y se llena con el sustrato elegido según el tipo de cultivo. Consiste en un sistema único de propagación en bandejas que proporciona el espacio y la aireación para un correcto enraizamiento, además se caracteriza por permitir extraer las plantas enraizadas fácilmente de las bandejas (Ellegaard, s.f.).

### 2.3.3. Envases que se usan varias veces

#### 2.3.3.1 Celdas individuales sostenidas por un portacontenedores

En esta categoría, 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. 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 (Buamscha et al., 2012).

#### 2.3.3.2 Contenedores en bloque

Estos contenedores consisten de un bloque, generalmente rectangular, que contiene determinado número de cavidades o celdas, arregladas en un patrón regular. Los contenedores en bloque son unidades de poco peso fácilmente manejables, y carecen de celdas individuales o fundas de celdas que puedan ser removidas. Muchos de los bloques de poliestireno expandido y macetas múltiples, con diferentes capacidades en la cavidad, poseen dimensiones externas estandarizadas, para que puedan ser utilizadas con los mismos equipos de llenado, siembra, manejo y extracción (Tinus y McDonald, citados por Landis, 1990). Esta característica también es útil durante el

almacenamiento, ya que los bloques de poliestireno expandido son fácilmente apilados, y las macetas múltiples pueden encajarse juntas (Landis, 1990).

#### 2.3.3.3 Bandejas de mini contenedores

Los mini contenedores se usan para cultivar plantas pequeñas o “miniplugs” que luego se trasplantan a contenedores más grandes. Son muy útiles para especies con semillas muy pequeñas que dificultan la siembra. El uso de estas bandejas es mucho más eficiente en el aprovechamiento del espacio y la mano de obra que sembrar los plantines en contenedores con celdas más grandes. Los plantines producidos en mini contenedores requieren atención permanente porque se secan muy rápido. Dado que hay que regarlos varias veces al día, es recomendable construir un sistema de rocío automático, o usar subirrigación (Buamscha et al., 2012).

#### 2.3.4 Efecto del envase en el comportamiento en plantaciones

El antecedente más cercano al presente ensayo, es el de González<sup>1</sup>, donde consta exactamente el mismo ensayo ubicado en el predio Solari, departamento de Rivera. La diferencia es que el crecimiento a campo se evaluó a los 5 meses post-plantación de los 12 tratamientos. Según el análisis estadístico existieron 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. En lo que se refiere a sobrevivencia de acuerdo al análisis estadístico existió un efecto significativo del factor clon evaluado sobre la sobrevivencia de las plantas a los 4 meses de instalado a campo; las diferencias estuvieron dadas entre el clon SS12 y el clon SS10 siendo el clon SS12 el de mayor sobrevivencia respecto al clon SS10, entre los demás clones no existieron diferencias significativas.

Domínguez et al. (2006), evaluaron en *Pinus pinea* el crecimiento y desarrollo de los plantines creciendo en diferentes contenedores en una estación de crecimiento en vivero y los 3 años siguientes en el campo. Encontró que las variables medidas a campo: altura, incremento en diámetro y sobrevivencia estaban correlacionadas con las variables de vivero. La variable volumen del contenedor fue la que tuvo mayor incidencia en la morfología de las plantas. Contenedores con mayor volumen de enraizamiento tuvieron plantines con mayor altura y diámetro, mayor contenido de nutrientes, y mejor

---

<sup>1</sup> González, M. 2016. Efecto combinado de distintos envases y clones comerciales de *Eucalyptus grandis*, en vivero, en el establecimiento y crecimiento inicial a campo (sin publicar).

comportamiento. Entre las variables que influenciaron en el efecto volumen de contenedor, el diámetro del contenedor fue la más importante, mientras que la profundidad tuvo menor importancia en cuanto a la morfología de las plantas.

Aphalo y Rikala (2003), trabajaron con *Bethula pendula* (Abedul plateado). Estudiaron diferentes volúmenes de contenedor a diferentes densidades en el vivero, evaluando luego el comportamiento a campo luego del trasplante, por 5 años, en dos sitios de plantación. También encontraron que el tamaño del contenedor tuvo gran efecto en la morfología de los plantines y en el comportamiento a campo. La densidad también tuvo efecto en la morfología de los plantines pero poca influencia en el comportamiento en plantación. Concluyeron también, que las mediciones de biomasa son el mejor predictor del desempeño a campo para la especie.

Gomes et al. (2003), evaluaron diferentes niveles de fertilización y el efecto tamaño de envase en la producción de plantines de *Eucalyptus grandis* (50, 110, 200 e 280 cm<sup>3</sup> de volumen). Encontraron que independientemente de las fertilizaciones, las medias de altura fueron significativamente mayores por la prueba de Tukey, con 5% de probabilidad, a medida que aumentó el volumen de los tubetes, probablemente debido a consideraciones de nutrientes y espacio para el crecimiento radicular en mayor volumen de sustrato.

Esos resultados fueron similares a los encontrados en algunos trabajos de investigación, en los cuales el pequeño volumen de envase causó restricción en el crecimiento radicular, provocando menor altura de plantines de *Eucalyptus grandis*, sin embargo en el campo ese efecto tendió a desaparecer con el tiempo (Barros et al., citados por Gomes et al., 2003).

Tanto los tubetes de mayor como los de menor volumen promovieron mayores medias de la relación altura/diámetro del plantín, siendo los dos tamaños intermedios lo que más se adecuaron (el más indicado sería el de 110 cm<sup>3</sup>), siendo que cuanto menor el valor de esa relación mayor será la capacidad de sobrevivencia de los plantines una vez establecidas en el campo (Carneiro, citado por Gomes et al., 2003). Además grandes volúmenes provocan gastos innecesarios, aumentando el área de vivero, los costos de transporte y distribución de plantines en el campo, acarreado, en general, mayores costos de producción (Carneiro, citado por Gomes et al., 2003).

Aguiar y Mello (1974), estudiaron la influencia de 4 envases diferentes en cuanto a dimensiones, en la producción de plantines de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna*. También evaluaron el crecimiento de los mismos una vez que fueron llevados al campo. Encontraron que las diferencias en altura por el aumento en volumen de los envases fueron significativas para las mediciones realizadas a los 30, 60 y 90 días post-plantación. A partir de los 120 días, la

influencia del recipiente en la altura de las plantas dejó de ser significativa. Los mayores incrementos en altura fueron constatados en aquellas plantas que habían tenido menor desarrollo en vivero, haciendo que este recipiente, en la fase de campo, proporcionara una recuperación de los plantines, y que se igualaran a los demás tratamientos. El sistema radicular de los plantines en éste recipiente exploró en la fase de vivero un volumen limitado, dada la naturaleza del recipiente. Plantadas a campo, las raíces, al liberarse del recipiente, encontraron un ambiente más adecuado para su desarrollo comparado al que se encontraban antes. Además, esas mismas raíces acostumbradas a un medio más drástico, revelaron una gran capacidad de explorar el suelo, después de ser plantadas a campo.

Por el contrario, aquellos recipientes que con mejor comportamiento, resultantes del eficiente aprovechamiento del agua y de los nutrientes del suelo, a causa de su mejor desarrollo de la parte aérea y radicular desde la fase de vivero, fueron los de menores incrementos luego de los 90 días a campo. Los incrementos fueron inferiores, tal vez por el hecho de que en vivero, el sistema radicular de los plantines crecidos en un medio adecuado, sin compactación, no encontraron problemas de penetración en el sustrato. Pero una vez en el campo, estas raíces son bastante desenvueltas, y por lo tanto menos rústicas, tuvieron que explorar un ambiente más drástico que aquel al que estaban acostumbradas en el vivero (Aguiar y Mello, 1974).

## 2.4. SUSTRATO

El medio de crecimiento tiene como función proporcionar a las plantas agua, aire, nutrientes minerales y soporte físico durante su permanencia en el vivero (Buamscha et al., 2012).

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).

### 2.4.1. Atributos deseables de un buen medio de crecimiento

#### 2.4.1.1. pH levemente ácido

El principal efecto del pH, en los suelos minerales y orgánicos, es la función que tiene sobre la disponibilidad de nutrientes en el medio de crecimiento para las plantas. En suelos orgánicos, como es la mayoría de los medios de crecimiento utilizados en la producción de plantas en contenedores, la mayor disponibilidad de nutrientes ocurre en valores de pH de 5,5 (Buamscha et al., 2012).

El pH final de un sustrato dependerá de la proporción de los ingredientes, su pH original, así como de las prácticas de cultivo posteriores, especialmente fertilización y riego. El agua de riego está generalmente cercana a la neutralidad, o es ligeramente alcalina, así que un medio de crecimiento normalmente ácido puede incrementar típicamente de 0.5 a 1.0 unidades de pH (esto es, hacerse más alcalino), durante la etapa de crecimiento (Gladon, citado por Landis, 1990).

#### 2.4.1.2. Alta capacidad de intercambio catiónico

Es uno de los atributos más importantes relacionados con la fertilidad del medio de crecimiento, es la suma de los cationes que un material puede absorber por unidad de peso o volumen. En el caso de medios de crecimiento orgánicos se utiliza volumen en su evaluación, mientras más alto es el valor, mayor es la capacidad del medio de crecimiento para retener nutrientes y se mide en miliequivalentes. La capacidad de intercambio catiónico cambia de sustrato a sustrato y es deseable que sea la mayor posible ya que permite mantener los niveles nutricionales en el medio de crecimiento entre fertilizaciones previniendo o protegiendo al elemento de su lixiviación por el riego (Buamscha et al., 2012).

#### 2.4.1.3. Baja fertilidad natural

Mantener altos niveles de nutrientes minerales, especialmente nitrógeno, durante la germinación y la emergencia de las plántulas, no es recomendable porque aumenta la posibilidad de promover hongos del tipo "damping-off". Además, las plántulas de muchas especies forestales pueden no requerir fertilización alguna durante las primeras semanas de crecimiento (excepto quizá fósforo, el cual es proporcionado en mejor manera a través de un sistema de inyección de nutrientes, Landis, 1990).

El principal beneficio de una baja fertilidad inherente, es que el viverista puede controlar completamente las concentraciones de nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento, a través de la fertilización (Landis, 1990).

#### 2.4.1.4. Adecuado equilibrio del tamaño de los poros

Una estructura de poros apropiadamente balanceada, representa un adecuado intercambio de gases para el sistema radical, lo cual afecta directamente todas las funciones de la raíz, como la absorción de nutrientes minerales y de agua. La porosidad puede ser dividida funcionalmente en tres partes: porosidad total, porosidad de aireación, y porosidad de retención de humedad (Bethke, citado por Landis, 1990).

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 (Landis, 1990).

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 (Landis, 1990).

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).

#### 2.4.1.5. Libre de plagas y enfermedades

Uno de los problemas más serios con los medios de crecimiento basados en suelo natural, es que éste puede contener toda una variedad de plagas y enfermedades, como hongos fitopatógenos, insectos y nemátodos, además de semillas de malas hierbas. A causa de estos problemas, el suelo necesita ser esterilizado con productos químicos antes de que sea utilizado como medio de crecimiento. Con la aparición de los sustratos artificiales, el uso de la pasteurización se ha reducido sustancialmente, ya que muchos de los componentes comúnmente usados están considerados libres de plagas y enfermedades (James, citado por Landis, 1990).

### 2.5. GÉNERO EUCALYPTUS

#### 2.5.1. Distribución geográfica

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 mayoría de las especies se encuentran confinadas en el territorio australiano, centro de origen del género, unas pocas se reportan para Papua, una sola para Nueva Guinea, Sulawesi y Mindanao, dos para Timor, Flores, Sunda, Alor y Wetar (Pryor, citado por Brussa, 1994).

Algunas especies muestran un gran área de ocurrencia formando parte de masas naturales, un claro ejemplo es *E. camaldulensis* que se reporta prácticamente para toda Australia. En otros casos las áreas, disyuntas y mucho menor en extensión, son muy ricas en variaciones ambientales como en el caso de *E. grandis* (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).

### 2.5.2. *Eucalyptus* en Uruguay

Corría aproximadamente el año 1850 cuando una fragata en viaje de Australia a Inglaterra, debió arribar al puerto de Montevideo por una avería. La mayor parte del cargamento era vigas de *Eucalyptus*, las que debieron desembarcarse y posteriormente fueron empleadas en la construcción de la aduana de la época. Las dimensiones y características de esas maderas llamaron la atención de Tomás Tomkinson, inglés radicado en Uruguay, quien encargó semillas de esos árboles al propio capitán de la fragata, oriundas de Australia, las cuales jamás llegaron a destino. En ese entonces surge la figura de Jorge Hodgskin, a quien le encomienda la obtención de un lote de semillas de *Eucalyptus*. Estas semillas traídas no provenían de Australia, sino del cabo de Buena Esperanza, de su siembra se obtuvieron las primeras plántulas en almácigos en 1853 (Brussa, 1994).

### 2.5.3. *Eucalyptus grandis*

Naturalmente se localiza en el este del continente australiano, en áreas disyuntas de la región norte y centro, costero sur y continental norte, con diferentes registros altitudinales (0-600 m 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 1000-3500 mm (Hall, Johnston y Marryal, FAO, Boland et al., citados por Brussa, 1994).

Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, bien drenados (Kelly, Chippendale y Johnston, Boland et al., Golfari, citados por Brussa, 1994).

Su cultivo en el Uruguay se difunde en la década de 1960, luego de que se introdujera en 1963 de huertos semilleros de Sudáfrica, no obstante, en los departamentos de San José (Tuset, citado por Brussa, 1994) y Rivera (Krall, citado por Brussa, 1994) ya existían algunas plantaciones escasas de esta

especie. Actualmente se trata de unos de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales por su conformación y su velocidad del crecimiento.

En los últimos años, como especie promisoría se establece el *Eucalyptus dunnii*, dada su característica de mayor resistencia al frío que el *E. grandis* y *E. saligna* (Golfari, citado por Brussa, 1994).

## 2.6. CONCEPTOS DASOMÉTRICOS

La mensura forestal es el conjunto de técnicas y metodologías que permiten resolver los problemas de medición en todos los aspectos de las ciencias forestales (Calderón, s.f.).

Por mensura forestal se conoce aquella ciencia que se ocupa de la medición del bosque y sus productos. Representa en último término la aplicación de principios básicos de matemática, geometría y física a la medición y estimación tanto de la madera en pie como tumbada, sustentada especialmente en la metodología estadística (Prodan et al., 1997).

Cualquier determinación de características tipo de un individuo o de un conjunto de individuos es considerada una medición cuando existe un contacto (físico, óptico o de algún otro tipo) entre el instrumento y el objeto, contacto que puede ser físico, óptico o de otra naturaleza (Prodan et al., 1997).

Al tratar la mensura de individuos, o conjunto de individuos, se debe diferenciar expresamente entre mediciones y estimaciones; este último concepto se aplicará a la determinación de un valor o dimensión mediante un estimador, que también es un instrumento pero del tipo estadístico-matemático (Prodan et al., 1997).

### 2.6.1. Diámetro

Es la operación más común y simple de mensurar y es la variable que más incide en la determinación del volumen. En árboles en pie, el diámetro representativo es el que se encuentra a 1,30 m desde el nivel del suelo y por su altura de medición se lo llama diámetro de altura de pecho (DAP) y también se lo conoce como diámetro normal (Calderón, s.f.).

Otros puntos de medición de diámetro de tipo comercial en árboles en pie son la altura en la base, mitad del fuste, cualquier punto sobre el fuste, diámetro a la altura de comienzo de copa, diámetros límites comerciales, entre otros. Para la medición directa o indirecta de árboles o trozas, existen varios instrumentos basados en diferentes principios (Prodan et al., 1997).

### 2.6.2. Altura

Normalmente se mide sobre el árbol la altura total del árbol, pero en algunas ocasiones y haciendo la correspondiente salvedad se puede medir la altura del fuste o también hasta la altura de copa viva. La altura es un parámetro directamente relacionado a la calidad de un sitio forestal y no está tan influenciada por la densidad de un bosque, por ese motivo es un valor muy utilizado para clasificar los distintos tipos de sitio por una metodología denominada “índice de sitio”. Los métodos para medir la altura pueden ser directos o indirectos. Los directos pueden ser por medio de reglas, varas o cortando el árbol y midiéndolo una vez apeado. El empleo de reglas o varas tiene algunas limitaciones como por ejemplo que sólo pueden alcanzarse como máximo hasta los quince metros por lo que se adaptaría solo en casos de plantaciones o bosques jóvenes; por otro lado el traslado de estas herramientas suele ser complejo o incómodo y además son en general de costo elevado. Los indirectos se pueden llevar adelante utilizando principios geométricos o trigonométricos (Calderón, s.f.).

### 2.6.3. Volumen

Corrientemente, el procedimiento general para calcular el volumen de cualquier sólido, se denomina “cubicación” término que está indicando una magnitud tridimensional, ya que las unidades cúbicas de volumen, se derivan de las tres unidades fundamentales de longitud (Sorrentino, s.f.).

El volumen total es aquel que corresponde al fuste principal de un árbol, en los árboles de forma excurrente (especies cuyo tronco se prolonga para formar un fuste principal que no se divide) se considera hasta la punta de los mismos (Prodan et al., 1997).

En la práctica forestal y para calcular el volumen real de un rollizo se divide en trozas de largo fijo o variable, se calcula el volumen de cada una de esas porciones y la sumatoria de sus volúmenes individuales dará el valor del volumen real total del rollizo (Calderón, s.f.).

En general, el contenido volumétrico del fuste se considera función de las variables diámetro a la altura de pecho ( $d$ ), altura total o altura de fuste ( $h$ ) y alguna expresión de la forma ( $f$ ). La estimación del volumen de árboles en pie se puede hacer a través de tablas o ecuaciones de volumen. Estas tablas permiten predecir el volumen de un árbol en pie a través de parámetros fáciles de medir (Calderón, s.f.).

## 2.7. ÍNDICES MORFOLÓGICOS

Un índice morfológico es una combinación de dos o más parámetros morfológicos. Ellos son generalmente diseñados para servir a uno o dos propósitos, el primero es para describir un atributo abstracto de una planta, tal como balance y/o vigorosidad. El segundo es para determinar la importancia relativa de la combinación de los parámetros morfológicos en un índice que expresa más estrechamente el funcionamiento de terreno de algún parámetro individual (Thompson, citado por Krüger, 2007).

El efecto del sitio sobre la esbeltez, el índice de copa y el porcentaje de copa sugiere que estos parámetros pueden resultar útiles en la descripción de rodales y permiten interpretar condiciones de crecimiento y manejo (Arias, 2005).

### 2.7.1. Índice de esbeltez

La relación entre la altura (m) y el diámetro (cm), conocido también en la literatura como esbeltez, es un valor que ha sido utilizado frecuentemente como un indicador de la estabilidad de los árboles contra los daños ocasionados por fuerzas mecánicas (viento y nieve) (Arias, 2004). Este índice o coeficiente de esbeltez se utiliza para prevenir problemas de rotura de fustes por nevadas o viento, con lo que se considera que existe un riesgo potencial bajo condiciones donde existe una desproporción entre altura y diámetro (Andenmatten y Letourneau, 1999).

Andenmatten y Letourneau (1999), consideran que los valores de este índice superiores a 0,80 son inadecuados, pues la planta puede sufrir daños por viento, sequía o frío. La esbeltez varía con la edad, esbelteces de hasta el 100%, son normales en la fase juvenil de la planta. A partir de los 10 años se espera que la esbeltez sea menor a 80% por lo contrario es síntoma de árboles muy finos que pueden partirse fácilmente.

### 2.7.2. Relación tallo/raíz

Esta relación es considerada como una medición del balance de biomasa entre las partes transpirante y absorbente.

González, citado por Krüger (2007), afirma que las plantas con una relación tallo/raíz más alta sobrevivirán mejor, sin embargo no siempre una relación alta será un buen indicador de supervivencia para un sitio determinado ya que la parte transpirante de la planta no estará ajustada a la capacidad de absorción.

Según Oliet, citado por Krüger (2007), valores inferiores de tallo/raíz indican una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo, a menor valor de tallo/raíz más favorecida está la absorción de agua frente a las pérdidas, lo cual es una condición favorable para zonas de baja pluviometría.

### 2.7.3. Índice de calidad de Dickson

Indica la potencialidad de la planta tanto de crecer como de sobrevivir en un ambiente dado (Krüger, 2007).

Su expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Índice de Calidad} = \text{Peso seco total (g) por planta} / ((\text{Altura total (cm)} / \text{Diámetro de cuello (mm)}) + (\text{Peso seco tallo (g)} / \text{Peso seco raíz (g)}))$$

Teóricamente los valores más altos de índice de Dickson deberían ser los mejores (Krüger, 2007).

## 2.8. CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

Para el estadístico, el experimento es un conjunto de reglas usadas para sacar la muestra de una población. Esto hace que la definición de la población sea lo más importante. El conjunto de reglas es el procedimiento experimental o diseño de experimento (Steel y Torrie, 1985).

Steel y Torrie (1985) definen una unidad experimental, como la unidad de material a la cual se aplica un tratamiento; siendo un tratamiento el procedimiento cuyo efecto se mide y se compara con otros tratamientos

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 llevarán 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).

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 realizaran las corridas o ensayos individuales del experimento se

determinan al azar. Uno de los requisitos de los métodos estadísticos es que las observaciones 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 (Montgomery, 2004).

El objetivo de los experimentos es determinar si hay diferencias reales entre las medias de tratamientos y estimar la magnitud de tales diferencias si existen. Una inferencia estadística respecto a dichas diferencias supone la asignación de una medida de la probabilidad a la inferencia (Steel y Torrie, 1985).

#### 2.8.1. Diseño de bloques completos al azar (DBCA)

El diseño en bloques completamente al azar, puede utilizarse cuando las unidades experimentales pueden agruparse; generalmente el número de unidades por grupo es igual al número de tratamientos, estos grupos se denominan bloques o repetición. El agrupamiento presenta el objetivo de lograr que las unidades en un bloque sean tan uniformes como sea posible, de modo que las diferencias observadas se deban en gran parte a los tratamientos. La variabilidad entre unidades de diferentes bloques será mayor que la variabilidad entre unidades del mismo bloque. La variación entre bloques no afecta claramente a las diferencias entre medias de tratamientos, ya que cada tratamiento aparece el mismo número de veces en cada bloque. En el terreno, un bloque consiste en un grupo compacto de parcelas, durante el transcurso del experimento, todas las unidades deben tratarse tan uniformemente como sea posible en todo aspecto diferente del tratamiento (Steel y Torrie, 1985).

Como ventajas de este diseño experimental, Steel y Torrie (1985) mencionan que es posible agrupar las unidades experimentales de modo que se logre mayor precisión que con el diseño completamente aleatorizado; no hay restricciones en cuanto al número de tratamientos o de bloques; si se desea usar repeticiones adicionales para ciertos tratamientos, estos se pueden aplicar a dos o más unidades por bloque con aleatorización adecuada para dar un diseño de bloque completo al azar; son posibles diseños que incluyan tratamientos no repetidos; el análisis de los datos es simple, si faltan datos de unidades individuales, pueden estimarse fácilmente y si el error experimental es heterogéneo, pueden obtenerse componentes no sesgadas aplicables a la prueba de comparación específica.

Dentro de las desventajas del DBCA se considera que, cuando la variación entre unidades experimentales dentro de un bloque es grande, resulta un término de error considerable, esto ocurre cuando el número de tratamientos

es grande; así puede no ser posible asegurar grupos de unidades suficientemente uniformes para los bloques (Steel y Torrie, 1985).

### 2.8.2. 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 replica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia se le llama efecto principal porque se refiere a los factores de interés primario en el experimento (Montgomery, 2004).

Montgomery (2004), determina que las observaciones de un experimento factorial pueden describirse con un modelo, el cual puede ser:

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

- $i : 1, 2 \dots a.$
- $k : 1, 2 \dots b.$
- $j : 1, 2 \dots r.$

Donde las componentes de la ecuación representan:

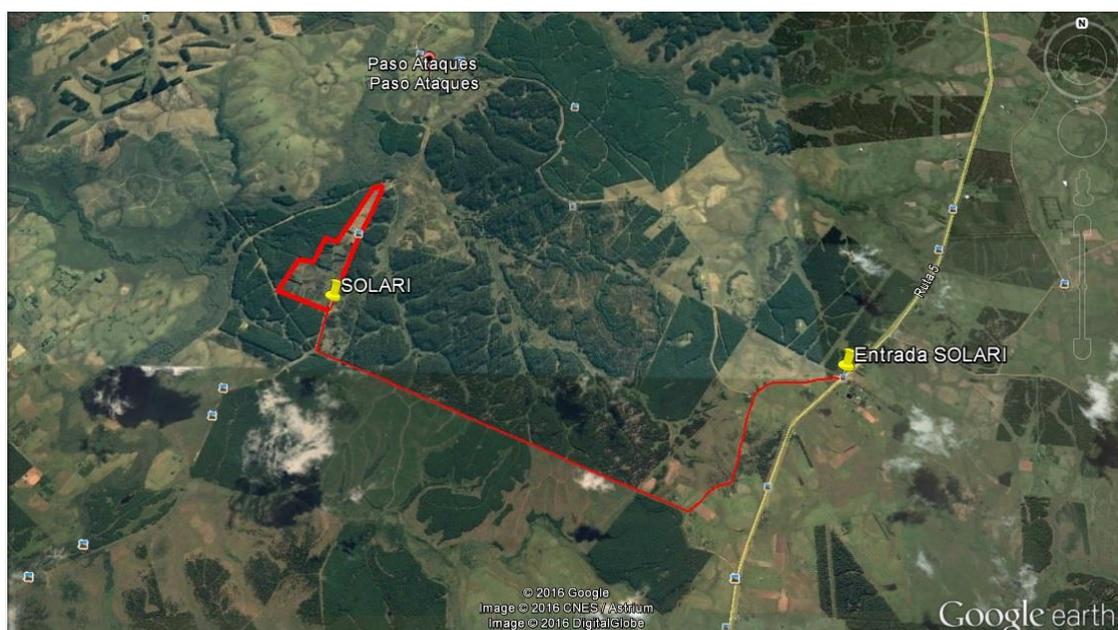
- $Y_{ijk}$ : respuesta en el  $j$  – ésimo bloque con el  $i$  – ésimo nivel de A y el  $k$  – ésimo nivel de B.
- $\mu$ : media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos.
- $A_i$ : efecto del  $i$  – ésimo nivel del factor A.
- $B_k$ : efecto del  $k$  – ésimo nivel del factor B.
- $(AB)_{ik}$ : efecto de la interacción entre el  $i$  – ésimo nivel de A y el  $k$  – ésimo nivel de B.
- $\beta_j$ : efecto del  $j$  – ésimo bloque.
- $\varepsilon_{ijk}$ : error en la  $j$  – ésima repetición con el  $i$  – ésimo nivel de A y el  $k$  – ésimo nivel de B.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN

El ensayo se ubica a 3.5 km aproximadamente de la estación Paso Ataques, departamento de Rivera, en el predio “Solarí”. Se accede desde Montevideo, por Ruta 5 hasta el kilómetro 462, entrando hacia la izquierda por camino vecinal recorriendo casi 8 kilómetros hasta el casco principal.

Figura No. 1. Ubicación del predio

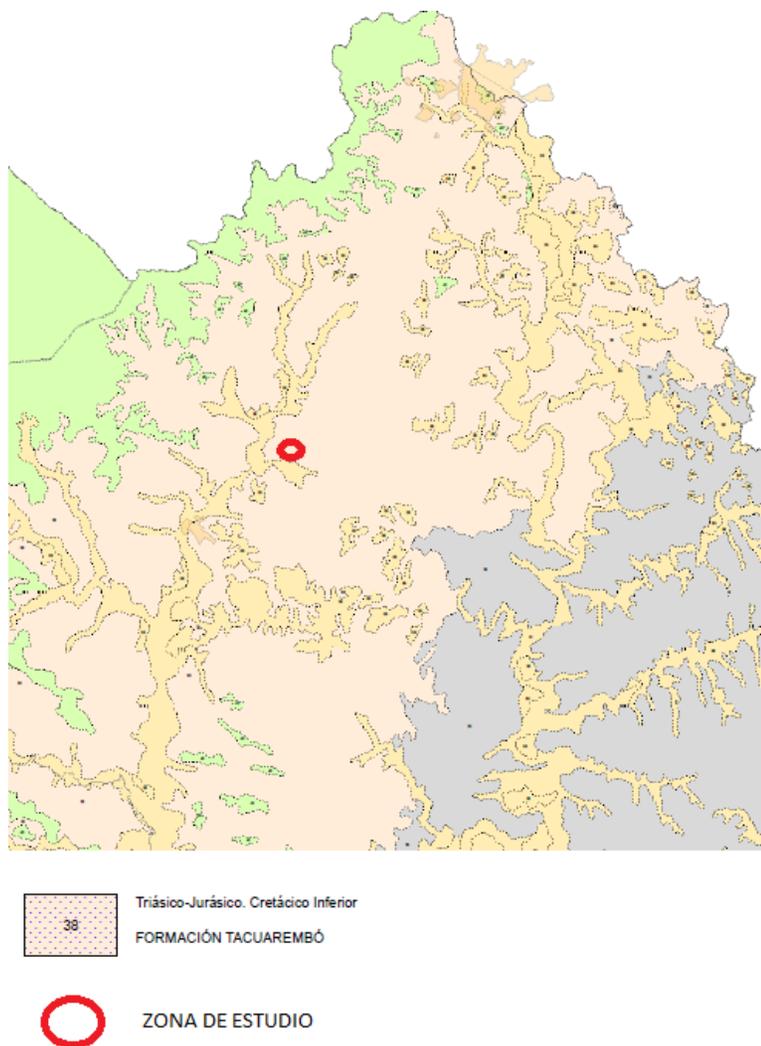


#### 3.2. RECURSOS NATURALES

##### 3.2.1. Geología

Según la Carta geológica del Uruguay, escala 1:500.000 (Bossi et al., 1998) el ensayo se encuentra sobre la Formación (Fm.) Tacuarembó.

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



Fuente: Bossi et al. (1998).

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

El predio en estudio se caracteriza por contar en su totalidad con suelos 7.31. Éste grupo de suelos 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.).

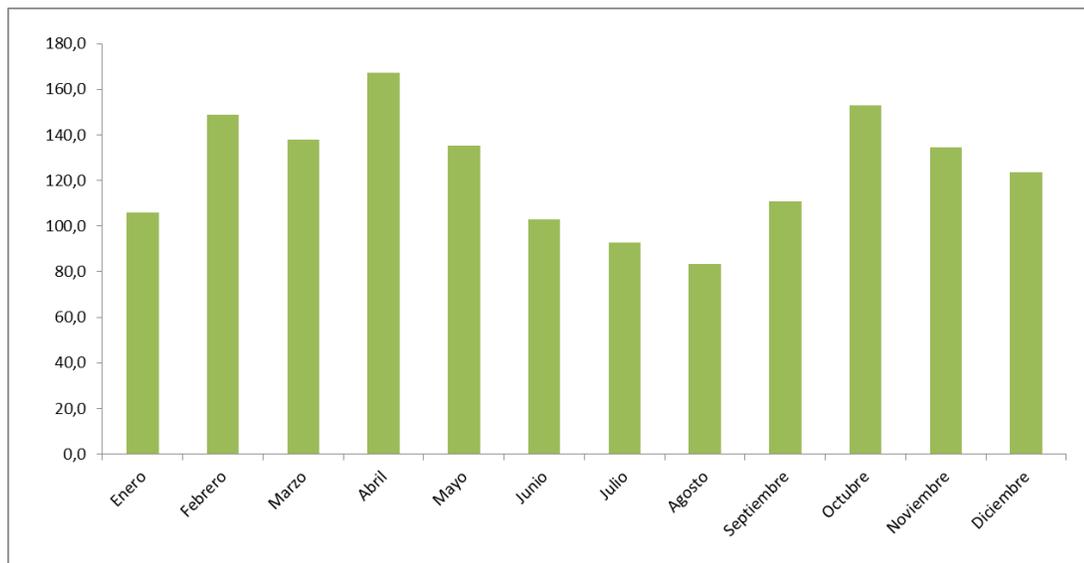
## 3.3. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

Las principales variables a tener en cuenta para la descripción climática de la región son la temperatura y precipitaciones. A su vez se incluye la frecuencia y períodos de ocurrencia de heladas, de gran importancia ya que a temperaturas por debajo de 0°C se produce la muerte de los tejidos vegetales.

### 3.3.1. Precipitaciones

Uruguay tiene un clima húmedo, sin estación seca, con una precipitación media anual de 1250 mm, variando entre 1100 mm en el sur y 1600 mm en el norte (Durán y García Préchac, 2007).

Gráfico No. 1. Precipitaciones acumuladas mensuales (mm), promedio de serie 1978-2016.



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

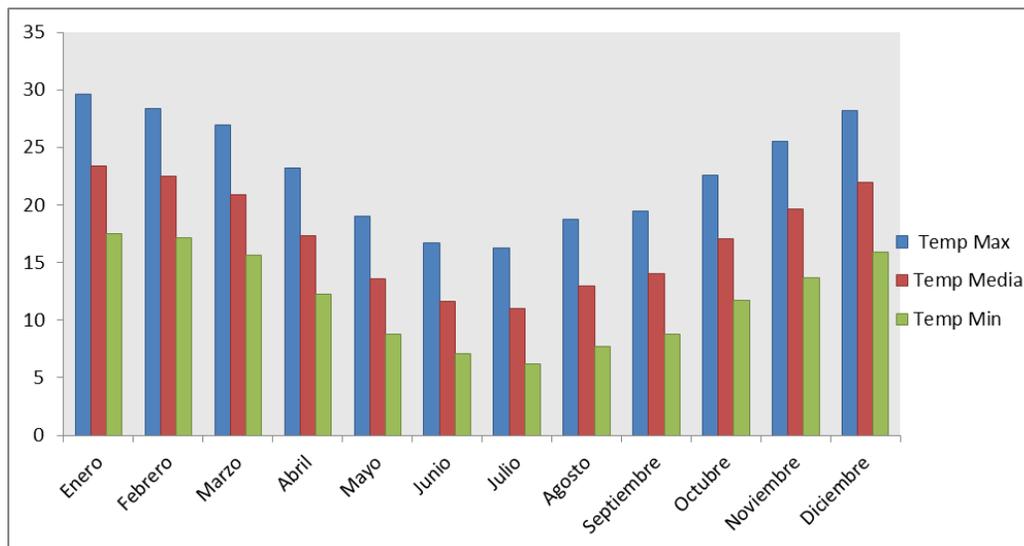
El promedio anual para la zona en estudio, tomando en cuenta la base de datos 1978-2016 de INIA Tacuarembó, es de 1497 mm.

### 3.3.2. Temperatura

La descripción del régimen térmico incluye las temperaturas mínimas y máximas promedio, y las temperaturas medias mensuales para la serie 1978-2016.

Se utilizan los datos de la base agroclimática de INIA Tacuarembó, por ser la estación meteorológica más cercana al predio.

Gráfico No. 2. Caracterización del régimen térmico (°C) INIA Tacuarembó, serie 1978-2016.



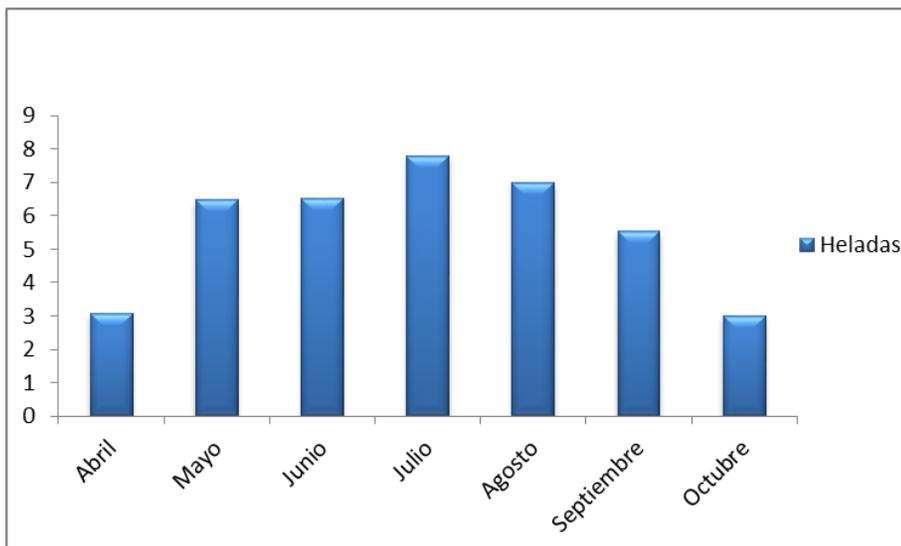
Fuente: INIA. GRAS (s.f.).

Los meses con menores temperaturas son junio y julio (invierno), mientras que en enero y diciembre (verano) se registran las mayores temperaturas.

### 3.3.3. Heladas agrometeorológicas

Se denomina helada agrometeorológicas cuando la temperatura mínima de césped es menor a cero grado. Por causa de la variación intranual de la temperatura existe un período en el cual éstas se manifiestan típicamente sobre nuestro país (INIA. GRAS, s.f.).

Gráfico No. 3. Ocurrencia de heladas (días de ocurrencia) en INIA Tacuarembó, correspondiente al período 1978-2016.



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

La mayor incidencia se da en el mes de julio (8 días con heladas). El periodo con heladas, comienza en el mes de abril y se extiende hasta los primeros días de octubre.

#### 3.4. TRATAMIENTOS

El ensayo se instaló el 7 de julio de 2014, en un campo sin forestación previa, un campo ganadero. La preparación previa a la instalación del ensayo consistió del laboreo de tierra y control sistemático de hormiga.

El experimento consta de 13 tratamientos, de los cuales 12 son combinaciones de 3 clones y 4 tubetes, más un testigo de semilla en bandeja.

Cuadro No. 1. Tratamientos, combinación de clones y tubetes.

Tratamiento	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

Cuadro No. 2. Volumen de tubetes y bandeja en ml.

Contenedor	Volumen ml
B96	65
F63	70
M104	90
B77	105
Bandeja	90

El material genético utilizado es producto del programa de mejoramiento genético de la empresa, se trata de clones de *E. grandis*.

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

### 3.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El relevamiento de datos se realizó los días 11, 12 y 13 de abril de 2016, con la colaboración de personal de la empresa. Se midieron las variables DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura total de los individuos, que a la fecha tenían 1 año y 7 meses de edad.

Para la toma de medidas se emplearon dos instrumentos, una regla telescópica para la altura y una cinta diamétrica para los diámetros.

### 3.6. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 3.6.1. Análisis estadístico

##### 3.6.1.1. Hipótesis

Se plantearon pruebas de hipótesis para la media de todas las variables en estudio. Las hipótesis a comprobar son:

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

$H_a$ : 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

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 o 0,01 (Montgomery, 2004).

Al momento de realizar el análisis estadístico se empleó el software InfoStat con la interface del software R-Project. El software permite elaborar el análisis de varianza (ANAVA) y detecta la existencia o no de diferencias significativas entre los distintos factores evaluados. 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.

Un aspecto a resaltar es que los modelos estadísticos empleados no tienen en cuenta el tratamiento 13, ya que los demás tratamientos se originan 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 en caso de tenerlo en cuenta en el modelo factorial se estaría cometiendo un error. Por tales motivos es que se realiza un análisis descriptivo para el tratamiento 13.

### 3.6.2. Análisis descriptivo

Para realizar el análisis descriptivo se utilizaron gráficos de cajas. El diagrama de cajas (o diagrama de cajas y bigotes) es una manera muy útil de representar gráficamente los datos. En el diagrama se muestra el mínimo, máximo, los cuartiles inferior y superior (percentil 25 y percentil 75, respectivamente) y la mediana (el percentil 50) en una caja rectangular alineada horizontal o verticalmente (Montgomery, 2004).

### 3.6.3. Diseño experimental

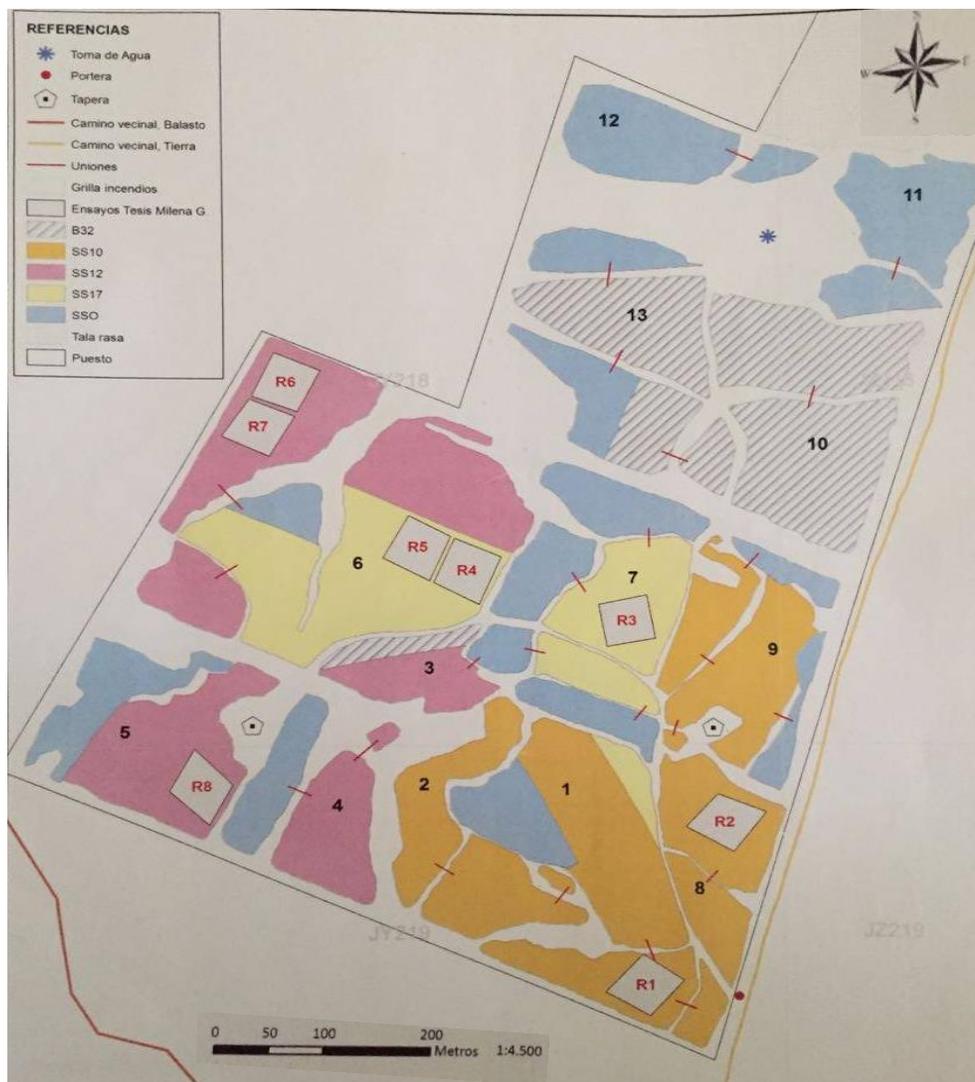
Es un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial donde cada bloque por tratamiento es aleatorio, es decir cada surco es un factor aleatorio ya que se debe considerar la varianza dentro de cada bloque porque cada uno está compuesto por un número distinto de plantas debido a la sobrevivencia. Consta de 8 repeticiones (8 bloques) y 13 tratamientos que se originan de la combinación de los tres clones con los cuatro tubetes y el testigo de semilla sembrado en bandeja. Cada bloque se compone de 13 filas por tratamiento. El marco de plantación es de 4,2 m de distancia entre plantas y de 3,4 metros de entre fila, el mismo fue establecido por la empresa y es el que se usa para las plantaciones comerciales.

Figura No. 2. Representación 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

La figura No. 2 es un croquis del ensayo, donde los números corresponden al tratamiento y cada repetición es un bloque.

Figura No. 3. Ubicación de cada bloque.



En la etapa de procesamiento de datos se emplearon tres variables, volumen aparente en metros cúbicos, sobrevivencia e índice de esbeltez.

#### 3.6.4. Volumen

El volumen aparente se calcula a partir de la siguiente expresión matemática:  $Volumen (m^3) = \frac{\pi}{4} * Dap^2 * H$

- Dap (m): diámetro a la altura del pecho
- H (m): altura total

- Volumen (m<sup>3</sup>): volumen de cada árbol

El volumen por árbol se obtuvo mediante la función general de volumen o llamado volumen aparente, en la cual se estima utilizando el valor del diámetro a la altura del pecho y la altura total de los árboles. Al tratarse de árboles con diámetros escasos debido a la edad, no se utiliza un factor de forma. El valor que se obtiene considera al árbol como un cilindro, la unidad utilizada es el metro cúbico.

El volumen por parcela se obtuvo mediante la sumatoria del volumen de todos los árboles que componían las parcelas. El volumen por unidad de superficie (en este caso hectárea) se obtuvo mediante la suma de todo el volumen por parcela, la relación entre la superficie ocupada por dicha parcela y la superficie de una hectárea. La relación expresa el factor de expansión que permite calcular el volumen que hay en una hectárea.

- Superficie 1 parcela (surco) = 171,36 m<sup>2</sup>
- Volumen por parcela (m<sup>3</sup>) =  $\Sigma$  Volúmenes individuales
- 1 ha = 10.000 m<sup>2</sup>

#### 3.6.4.1. Volumen por tratamiento

- Factor de expansión (Fe<sub>trat</sub>)=  $\Sigma$  superficie ocupada por el tratamiento (171,36 m<sup>2</sup> \* 8) / superficie de 1 hectárea.
- Volumen (m<sup>3</sup>/ha) =  $\Sigma$  de volúmenes por tratamiento \* Fe<sub>trat</sub>

#### 3.6.4.2. Modelo estadístico para el volumen

El modelo empleado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + TC_{ij} + \beta_k + (1|B_k * C_j : T_i) + \epsilon_{ijkl}$$

- i: 1,2,3,4.(Tubete).
- j: 1,2,3.(Clon).
- k: 1,2,4, 5, 6, 7, 8.(Bloques).
- Y<sub>ijk</sub> - Volumen (m<sup>3</sup>) por bloque del i – ésimo tubete, j – ésimo clon en el k – ésimo bloque.
- $\mu$  - media poblacional.
- T<sub>i</sub> – efecto del i – ésimo tubete.
- C<sub>j</sub> – efecto del j – ésimo clon.
- TC<sub>ij</sub> – efecto de la interacción entre el i – ésimo tubete y el j – ésimo clon.

- $B_k$  – efecto del  $k$  – ésimo bloque.
- $\varepsilon_{ijkl}$  – error experimental asociado al  $i$  – ésimo tubete,  $j$  – ésimo clon, en el  $k$  – ésimo bloque.

### 3.6.5. Índice de esbeltez

Además del cálculo de volumen, se busca estimar el índice de esbeltez, que permite evaluar como son los arboles frente a condiciones de clima adversas como lo es el viento.

Para la obtención del índice, se emplea la fórmula que relaciona la altura total del árbol con el diámetro a la altura del pecho, la siguiente es:

-Índice de esbeltez (m/cm) = Altura (m) / Dap (cm)

#### 3.6.5.1. Modelo estadístico para índice de esbeltez

El modelo empleado en este caso es el mismo que para el volumen aparente, lo único que se modifica es la variable. El siguiente es:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + TC_{ij} + \beta_k + (1|B_k * C_j : T_i) + \varepsilon_{ijkl}$$

- $i$ : 1,2,3,4.(Tubete).
- $j$ : 1,2,3.(Clon).
- $k$ : 1,2,4, 5, 6, 7, 8.(Bloques).
- $Y_{ijk}$  – índice de esbeltez (m/cm) por bloque del  $i$  – ésimo tubete,  $j$  – ésimo clon en el  $k$  – ésimo bloque.
- $\mu$  - 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.
- $\varepsilon_{ijkl}$  – error experimental asociado al  $i$  – ésimo tubete,  $j$  – ésimo clon, en el  $k$  – ésimo bloque.

### 3.6.6. Sobrevivencia

El análisis del efecto de los distintos tipos de tubetes sobre la sobrevivencia a campo se ajustó con un modelo lineal generalizado, en el cual se asume una distribución quasibinomial de la variable aleatoria. Las variables de respuesta corresponden al total de plantas vivas, ya que se quitaron los individuos muertos.

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 (Montgomery, 2004).

#### 3.6.6.1. Modelo estadístico para sobrevivencia

El modelo correspondiente a este ajuste es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + S_j + T_i + Z_k + ST(ij) + \varepsilon_{ijkl}$$

- $i$ : 1,2,3,4.(Tubete).
- $j$ : 1, 2,3 (Clon).
- $k$ : 1, 2,8.(Bloques).
- $Y_{ijk}$  - Sobrevivencia del  $i$  – ésimo tubete,  $j$  – ésimo clon en el  $k$  – ésimo bloque.
- $\mu$  - media poblacional.
- $T_i$  – efecto del  $i$  – ésimo tubete.
- $S_j$  – efecto del  $j$  – ésimo clon.
- $TS_{ij}$  – efecto de la interacción entre el  $i$  – ésimo tubete y el  $j$  – ésimo clon.
- $Z_k$  – efecto del  $k$  – ésimo bloque.
- $\varepsilon_{ijkl}$  – error experimental asociado al  $i$  – ésimo tubete,  $j$  – ésimo clon, en el  $k$  – ésimo bloque.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

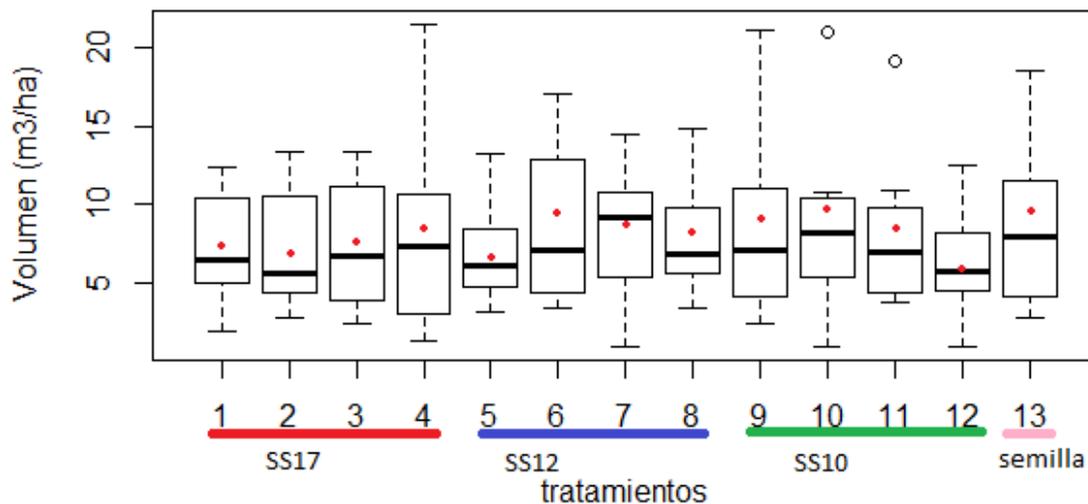
##### 4.1. VOLUMEN

##### 4.1.1. Análisis descriptivo

Cuadro No. 3. Volumen por hectárea según tratamiento.

Clon	Tubete	Tratamiento	Volumen/parcela	Volumen/ha
SS17	F63	1	0,99	7,22
SS17	104	2	0,98	7,12
SS17	B77	3	1,01	7,39
SS17	B96	4	1,11	8,10
SS12	F63	5	0,94	6,84
SS12	104	6	1,18	8,60
SS12	B77	7	1,13	8,26
SS12	B96	8	1,07	7,83
SS10	F63	9	1,16	8,48
SS10	104	10	1,20	8,75
SS10	B77	11	1,12	8,16
SS10	B96	12	0,86	6,27
SSO	Bandeja	13	1,17	8,56

Como se puede observar en el cuadro No. 3, el tratamiento que presenta mayor rendimiento volumétrico por hectárea es el tratamiento 10, con 8,75 m<sup>3</sup>, mientras que el tratamiento 12, es el de peor resultado con 6,27 m<sup>3</sup>. La media general del experimento es de 7,81 m<sup>3</sup> y el desvío estándar asociado es de 0,75 m<sup>3</sup>.

Gráfico No. 4. Volumen (m<sup>3</sup>/ha) por tratamiento.

El gráfico No. 4 muestra la distribución de los datos dentro de cada tratamiento. Los tratamientos 7, 10 y 13 son los que presentan mayores medianas. Los tratamientos 6, 13, 4 y 9 tienen un mayor recorrido intercuartílico, evidenciando una mayor dispersión de los datos. Salvo dos excepciones no se visualizan datos raros dentro de las observaciones.

Cuadro No. 4. Desvío estándar (m<sup>3</sup>/ha) por tratamiento.

Tubete	Clon	Trat.	desvío m <sup>3</sup> /ha
104	SS17	2	3,52
104	SS12	6	3,89
104	SS10	10	4,14
B77	SS17	3	6,61
B77	SS12	7	3,29
B77	SS10	11	5,28
B96	SS17	4	4,33
B96	SS12	8	3,72
B96	SS10	12	6,31
F63	SS17	1	5,95
F63	SS12	5	5,08
F63	SS10	9	3,49
Bandeja	SSO	13	5,37

Los mayores desvíos se observan con el uso de bandeja con material genético de origen seminal (tratamiento 13), indicando una mayor heterogeneidad en las observaciones. Le siguen los tratamientos que incluyen el tubete de mayor volumen (B77). El tubete 104 presenta menor desvío.

#### 4.1.2. Análisis estadístico

Cuadro No. 5. Resultados ANAVA para volumen en m<sup>3</sup> de *E.grandis*.

Fuente de Variación	DF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1056	491,28	<0,0001
Tubete	3	77	0,26	0,8564
Clon	2	77	0,18	0,8388
Repetición	7	77	12,23	<0,0001
Tubete:Clon	6	77	0,56	0,7573

Estadísticamente no se observaron diferencias significativas por el uso de distintos genotipos y tubetes en el crecimiento en volumen aparente por hectárea.

## 4.2. ÍNDICE DE ESBELTEZ

### 4.2.1. Análisis descriptivo

Cuadro No. 6. Dap promedio, altura promedio e índice de esbeltez promedio y desvío por tratamiento.

Trat.	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	I.Esbeltez promedio	Desvío
1	4,87	4,9	1	0,39
2	4,73	4,8	1,03	0,36
3	4,8	4,89	1,02	0,37
4	4,86	5,22	0,98	0,49
5	4,67	4,73	1,01	0,36
6	5,08	5,19	1	0,28
7	5,18	5,32	0,94	0,39
8	5,05	5,14	0,96	0,30
9	5,06	5,07	0,97	0,40
10	5,04	5,15	0,98	0,47
11	5,18	5,19	0,92	0,48
12	4,68	4,74	0,89	0,55
13	5,07	5,04	0,98	0,40

En el cuadro No. 6 se aprecia que los tratamientos que presentan mayor dap promedio son 7 y 11, mientras que los que presentan menor dap promedio son 5 y 12. Con respecto a la altura los tratamientos 4 y 7 son los de mayor altura promedio, siendo 5 y 12 los de menor altura promedio. Los valores de esbeltez promedio están bastante equilibrados, el tratamiento 12 es el que presenta menor valor. Los desvíos presentan valores relativamente altos, siendo el tratamiento 12 el que presenta mayor desvío.

### 4.2.2. Análisis estadístico

Cuadro No. 7. Resultados ANAVA para índice de esbeltez.

Fuente de Variación	DF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1055	4569,25	<0,0001
Tubete	3	77	1,06	0,3713
Clon	2	77	1,82	0,1691
Repetición	7	77	6,6	<0,0001
Tubete:Clon	6	77	0,21	0,9731

En el análisis estadístico para índice de esbeltez, al igual que en el volumen, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos.

### 4.3. SOBREVIVENCIA

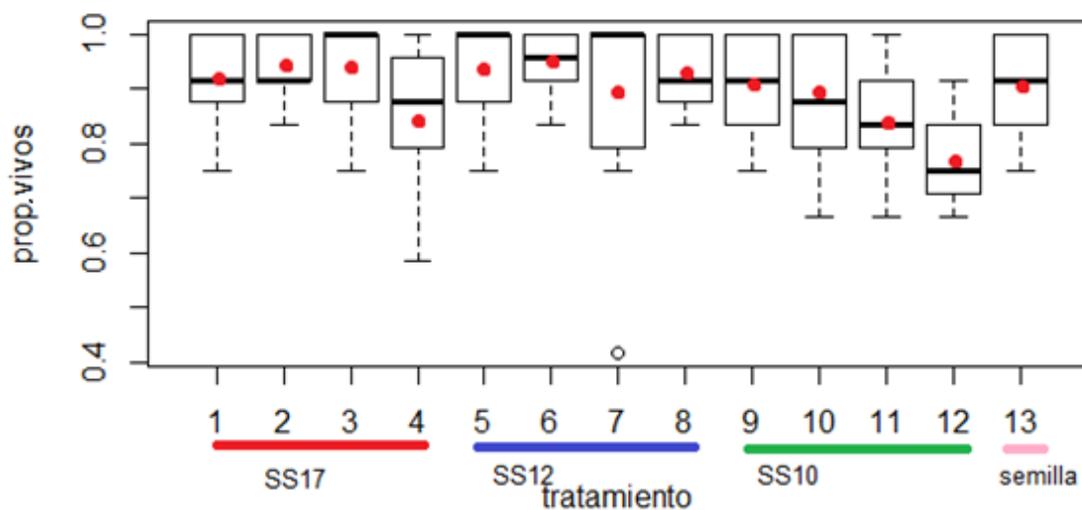
#### 4.3.1. Análisis descriptivo

Cuadro No. 8. Proporción de vivos y desvíos por tratamiento.

Tratamiento	Clon	Tubete	Proporción de vivos	Desvío
1	SS17	F63	0,92	0,08
2	SS17	104	0,94	0,06
3	SS17	B77	0,94	0,09
4	SS17	B96	0,85	0,13
5	SS12	F63	0,94	0,09
6	SS12	104	0,95	0,06
7	SS12	B77	0,88	0,2
8	SS12	B96	0,93	0,07
9	SS10	F63	0,91	0,09
10	SS10	104	0,88	0,12
11	SS10	B77	0,84	0,1
12	SS10	B96	0,77	0,08
13	SSO	Bandeja	0,91	0,09

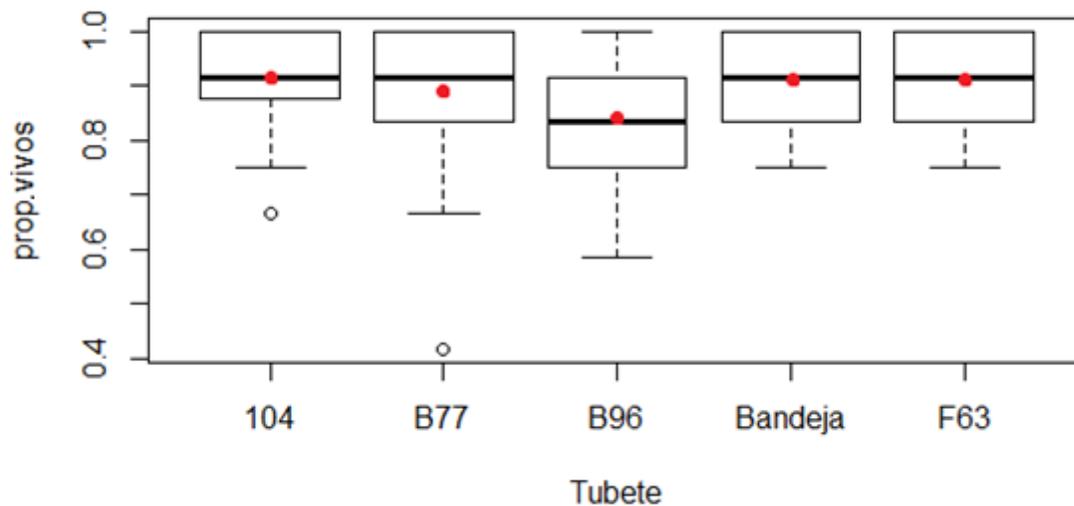
Del cuadro No. 8 se concluye que los clones SS17 y SS12 presentan mayor proporción de vivos al usar los distintos tubetes en comparación con el clon SS10. Además destacar el aceptable valor obtenido por el testigo SSO producido en Bandeja. Se observa el mayor valor de desvío para el tratamiento 7, con un valor de 0,2. Los clones SS17 y SS12 presentan cierta variación en sus desvíos en todos sus tratamientos. El clon SS10 es el de menor varianza y se puede observar mediante la similitud en sus desvíos.

Gráfico No. 5. Proporción de vivos según tratamiento.



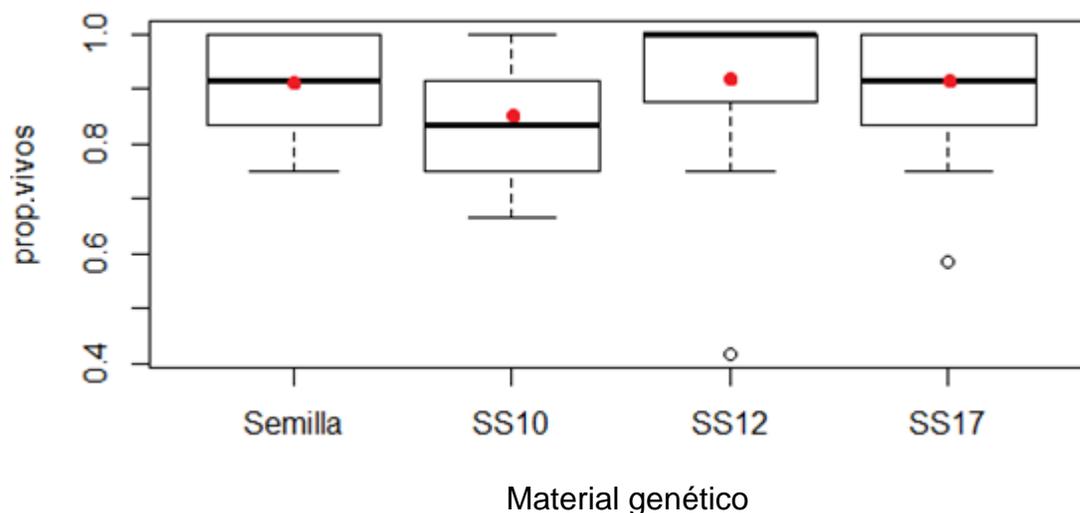
En el gráfico No. 5, se aprecia que las medianas de los tratamientos que incluyen al clon SS10, están sistemáticamente por debajo de 0,9, a diferencia de los clones SS17 y SS12. Puntualmente el tratamiento 12 es el de peor resultado en términos de sobrevivencia.

Gráfico No. 6. Proporción de árboles vivos según tubete.



En el gráfico No. 6, se distingue que el tubete B96 es el que presenta menor media y mediana. Cabe destacar que es el envase de menor capacidad en volumen. A grandes rasgos la dispersión de los datos, observada a través del rango intercuartílico, es similar para todos los tubetes, diferenciándose levemente el tubete 104 con una menor dispersión.

Gráfico No. 7. Proporción de vivos según material genético.



Agrupando los datos de sobrevivencia por material genético, se observa nuevamente la inferioridad del clon SS10 con respecto a los dos clones, e incluso es inferior al testigo. Con respecto al clon SS12, el valor de la mediana es 1, pero, al incluir valores muy bajos, repercute disminuyendo el valor de la media.

#### 4.3.2. Análisis estadístico

Cuadro No. 9. Resultados ANAVA para Índice de sobrevivencia.

Fuente de Variación	Df	Deviance Resid.	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			95	172,48	
Tubete	3	9,850	92	162,64	0,0709
Clon	2	12,220	90	150,42	0,0128
Repetición	7	25,310	83	125,11	0,0116
Clon:Tubete	6	6,630	77	118,48	0,5787

Para el caso de la sobrevivencia, los resultados del modelo permiten concluir que hay diferencias significativas en el factor clon, obteniéndose un p-valor de 0,0128 por lo tanto menor a 0,05. En este caso tampoco hubo interacción clon-tubete.

Cuadro No. 10. Resultados prueba LSD Fisher para sobrevivencia.

Clon	PredLin	E.E.	Media	E.E.	LSD
SS12	2,67	0,25	0,94	0,02	A
SS17	2,54	0,24	0,93	0,02	A
SS10	1,91	0,19	0,87	0,02	B

Mediante la prueba LSD Fisher, se pudo determinar, cuál de los clones presenta mayor sobrevivencia. Los resultados arrojan que tanto el clon SS12 como el SS17, son estadísticamente superiores al SS10, en términos de sobrevivencia.

## 5. CONCLUSIONES

Con respecto al crecimiento, medido a través de la variable volumen/ha, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los factores evaluados (volumen del envase y material genético), tampoco para la interacción entre los mismos. La medición se realizó cuando las plantaciones tenían 1 año y 7 meses de edad.

Previamente en el experimento realizado por González<sup>1</sup>, en el cual los mismos tratamientos fueron medidos a los 4 meses post-plantación, si se observaron diferencias significativas con respecto al factor tubete. Los tratamientos con los tubetes de mayor capacidad (M104 y B77) fueron los que produjeron mayor volumen a campo. Los resultados son coincidentes con lo reportado en la bibliografía por Aguiar y Mello (1974), quienes encontraron que partir de los 120 días, la influencia del recipiente en el crecimiento medido a través de la altura de las plantas dejó de ser significativa.

Dentro de los objetivos secundarios, el índice de esbeltez como medida de la estabilidad frente a los daños mecánicos (viento), no arrojó diferencias significativas, evaluado a los distintos niveles de los factores. Tampoco se observó interacción clon: tubete. Los valores promedio obtenidos se encuentran dentro de los parámetros deseables reportados en la literatura, para la edad actual que presentan los árboles.

En cuanto a la sobrevivencia, únicamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el factor clon, destacándose los clones SS17 y SS12, por encima del clon SS10. Si bien no se encontraron diferencias significativas en el factor tubete, cabe destacar que con el tubete B96 existió una tendencia hacia menores valores de sobrevivencia.

## 6. RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del Programa de Investigación y Desarrollo de la empresa COFUSA (Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima), siendo el objetivo principal la evaluación del efecto de distintos tipos de contenedores utilizados, sobre el crecimiento de árboles (de origen clonal) a nivel de campo para la especie *Eucalyptus grandis*. El ensayo se compone de tres clones comerciales de la empresa, SS10, SS12 y SS17, los cuales fueron producidos en cuatros envases diferentes, F63, 104, B77 y B96, además incluye un testigo proveniente de semilla y sembrado en bandeja. Los objetivos principales del ensayo son la evaluación del rendimiento en volumen aparente de los distintos genotipos producidos en los diferentes envases y si existe efecto de interacción entre los genotipos y los envases. Como objetivos secundarios se propusieron evaluar la sobrevivencia y el índice de esbeltez, el cual indica la resistencia de los árboles a factores climáticos como el viento. De acuerdo al análisis estadístico, en lo que se refiere a sobrevivencia, existe un efecto significativo del factor clon, evaluado sobre la sobrevivencia de las plantas. Todos los tratamientos presentan altos porcentajes de sobrevivencia. Respecto al volumen a campo según el análisis estadístico, no existen diferencias entre los tubetes, tampoco diferencias entre los clones y no existió interacción clon:tubete. La variable índice de esbeltez, tampoco arrojó diferencias significativas.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*; Envase; Volumen; Índice de esbeltez; Sobrevivencia.

## 7. SUMMARY

The present work is part of the Research and Development Program of the company COFUSA (Compañía Forestal Uruguaya Sociedad Anónima), the main objective being the evaluation of the effect of different types of containers used, on the growth of trees (of clonal origin) At field level for the species *Eucalyptus grandis*. The assay is composed of three commercial clones of the company, SS10, SS12 and SS17, which were produced in four different containers, F63, 104, B77 and B96, in addition includes a control from seed and planted in tray. The main objectives of the trial are the evaluation of the yield in apparent volume of the different genotypes produced in the different containers and if there is interaction effect between the genotypes and the containers. Secondary objectives were to evaluate survival and the Slenderness Index, which indicates the resistance of trees to climatic factors such as wind. According to the statistical analysis, in terms of survival there is a significant effect of the clone factor evaluated on the survival of plants. All treatments present high survival percentages. Regarding volume, according to the statistical analysis there were no differences between the containers, nor differences between the clones and there was no interaction clone: container. The slenderness index also did not show significant differences.

Key words: *Eucalyptus grandis*; Containers; Volume; Slenderness index; Survival.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar, B.; Mello, A. 1974. Influência do recipiente na produção de mudas e no desenvolvimento inicial após o plantio no campo, de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden e *Eucalyptus saligna* Smith. (en línea). IPEF. no.8: 19-40. Consultado 10 may. 2016. Disponible en <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr08/cap02.pdf>
2. Andenmatten, F.; Letourneau, F. J. 1999. Modelo de rendimiento forestal. (en línea). Bariloche, INTA. 25 p. Consultado 25 may. 2016. Disponible en <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210740.pdf>
3. Aphalo, P.; Rikala, R. 2003. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volumen. (en línea). New Forests. 25: 93–108. Consultado 1 jun. 2016. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1022618810937>
4. Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. (en línea). Kurú, Revista Forestal. 2(5). Consultado 16 mayo 2016. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/400205>
5. Bossi, J.; Navarro, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. 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 3 jun. 2016. Disponible en [http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc\\_plantas\\_viv.pdf](http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf)
9. Calderón, D. s.f. Mensura forestal. Cuyo, casa editora. 31 p. (Cuadernos de Dasonomía. Serie Didáctica no. 18).
10. de Freitas, T.; Barroso, D.; Carneiro, J.; Penchel, R.; Pellegrini, M. 2008. Desempenho pós-plantio de mudas clonais de Eucalipto

producidas em diferentes recipientes e substratos. (en línea).  
Revista Árvore. 32(6): 1019-1028. Consultado 25 jun. 2016.  
Disponibile en <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n6/a07v32n6.pdf>

11. Domínguez-Lerena, S.; Herrero Sierra, N.; Carrasco Manzano, I.; Ocaña Bueno, L.; Peñuelas Rubira, J. L.; Mexal, J. G. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. (en línea). Forest Ecology and Management. 221: 63–71. Consultado 15 oct. 2016. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112705004974>
12. Ellegaard. s.f. Ellepot. (en línea). s.l. Consultado 25 jun. 2016. Disponible en <http://issuu.com/leandrocosta/docs/ellepot-brochure>
13. Gomes, J. M.; Couto, I. L.; García Leite, H.; Xavier, A.; Ribeiro García, S. 2003. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. (en línea). Revista Árvore. 27(2): 1806-9088. Consultado 15 oct. 2016. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622003000200001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000200001)
14. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agroclima y Sistemas de Información, UY). s.f. Caracterización agroclimática del Uruguay 1978-2016. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 2 ago. 2016. Disponible en [http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara\\_agro/index.html](http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/index.html)
15. Krüger, F. 2007. Producción de plantas de *Pinus ponderosa* 1:1 en viveros de Valdivia y Cochrane.(en línea). Consultado 12 jun. 2016. Valdivia. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifk.94p/doc/fifk.94p.pdf>
16. Landis, T. 1990. Containers and growing media. (en línea). In: Landis, T.; Tinus, R. W.; Mc Donald, S. E.; Barnett, J. P. eds. The container tree nursery manual. Washington, D. C., USDA. v.2, pp. 1- 85 (Agriculture Handbook no. 674). Consultado 15 jun. 2016. Disponible en <http://www.nurserycropscience.info/management/shipping/other-references>
17. Marcó, M.; Allian, R.; Sánchez, M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques

cultivados de la Argentina. In: Fernández, R. coord. Mejores árboles para más forestadores; el programa de producción de material de propagación mejorado y el mejoramiento genético en el proyecto forestal de desarrollo. Buenos Aires, INTA. pp. 9-17.

18. Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales; uso de propagadores de subirrigación. Turrialba, CR, IICA. 36 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 30).
19. MGAP. RENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. División Suelos y Aguas, UY). s.f. Descripción de grupos de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado 13 ago. 2016. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/media/Descripci%C3%B3n-de-Grupos-de-Suelos-CONEAT-1.pdf>
20. Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. 2a. ed. México, D.F., Limusa. 686 p.
21. 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 2 jun. 2016. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/el-vivero-forestal/>
22. Prodan, M.; Roland, P.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica, IICA. 561 p.
23. Rojas, S. 2004. Propagación asexual de plantas. Conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas. (en línea). Bogotá, Colombia, Produmedios. 55 p. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/Propagacinasexualdeplantas.pdf>
24. Sorrentino, A. 1990. Manual teórico – práctico; técnicas e instrumentos de medición forestal. Montevideo, Facultad de Agronomía. v.1, 315 p.
25. Sotolongo, R.; Geada, G.; Cobas, M. s.f. Mejoramiento genético forestal; texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. (en línea). Roma, FAO. s.p. Consultado 4 jun. 2016. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/Mejoramiento%20Genetico%20Forestal.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Mejoramiento%20Genetico%20Forestal.pdf)

26. Steel, R.; Torrie, J. 1985. Bioestadística; principios y procedimientos. 2ª. ed. Bogotá, Colombia, Presencia. 622 p.
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 10 jun. 2016. Disponible en [http://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=0axcA6QJGLgC&oi=fnd&pg=PR3&dq=reproduccion+sexual+en+mejoramiento+gen+etico+forestal&ots=j58yasbKN0&sig=2-BG0NgOY4Fa\\_dOLAjxLWewZI1M&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=0axcA6QJGLgC&oi=fnd&pg=PR3&dq=reproduccion+sexual+en+mejoramiento+gen+etico+forestal&ots=j58yasbKN0&sig=2-BG0NgOY4Fa_dOLAjxLWewZI1M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
28. Wendling, I. 2003. Propagação vegetativa. (en línea). Brasília, EMBRAPA. Florestas e Meio Ambiente. 6 p. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf>
29. Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. New York, Wiley and Sons. 505 p.
30. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.

## 9. ANEXOS

Anexo No. 1. Mediciones del ensayo.



Anexo No. 2. Fotos del ensayo en el predio Solari.

