

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE REGULADORES  
DE CRECIMIENTO EN EL DESARROLLO RADICULAR  
DE PLANTINES DE *Eucalyptus smithii***

**por**

**Sofía BOLAÑO MENDEZ  
Enzo FIORAVANZO SIRI  
María PATTARINO SEIJAS**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2023**

Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

---

Ing. Agr. (PhD.) Jaime González Talice

Codirector:

---

Ing. For. (MSc.) Franco Schinato

Tribunal:

---

Ing. Agr. (MSc.) Fernando Resquín

---

Ing. Agr. (PhD.) Jaime González Talice

---

Ing. For. (PhD.) Marcio Navroski

Fecha:

25 de abril de 2023

Estudiante

---

Sofía Bolaño Méndez

---

Enzo Fioravanzo Siri

---

María Pattarino Seijas

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera y durante la realización del presente trabajo final de grado.

A nuestros amigos y compañeros que transitamos la carrera juntos, por los buenos momentos compartidos.

A nuestro tutor Franco Schinato y a Andrés Baietto por el apoyo técnico, orientación y dedicación brindada para la realización de este trabajo.

Al equipo de INIA y vivero Saucedo por permitirnos trabajar y llevar adelante la investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Objetivos generales	11
1.1.2. Objetivos específicos	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE	12
2.1.1. Mortalidad de <i>Eucalyptus smithii</i>	14
2.2. PRODUCCIÓN DE PLANTINES	14
2.2.1. Importancia de la semilla en la silvicultura	14
2.2.2. Procedencia de la semilla	15
2.2.3. Proceso de producción de plantines seminales	16
2.2.4. Germinación	16
2.3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL SISTEMA RADICULAR	16
2.4. ÍNDICES DE CALIDAD DE PLANTINES	18
2.5. HORMONAS VEGETALES Y REGULADORES DE CRECIMIENTO	20
2.5.1. Auxinas	21
2.5.2. Ácido naftalenacético	21
2.5.3. Efecto de las auxinas en el enraizamiento	22
2.5.4. Etileno	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
3.1.1. Ubicación del sitio	24
3.1.2. Clima asociado	25
3.1.3. Temperaturas promedio, máximas y mínimas para el periodo de influencia	25
3.2.1. Material vegetal y diseño experimental	26

	5
3.2.2. Evaluaciones	28
3.2.2.1. Selección de plantines e instancias de evaluación	28
3.2.2.2. Indicadores de calidad de plantin	30
3.2.3. Análisis estadístico	31
4. RESULTADOS	32
4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PLANTINES	32
4.2. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES	32
4.2.1. Primera evaluación: 50 días	32
4.2.1.1. Variables morfológicas	32
4.2.1.2. Indicadores de calidad	34
4.2.2. Segunda evaluación: 70 días	39
4.2.2.1. Variables morfológicas	39
4.2.2.2. Indicadores de calidad	41
4.2.3. Tercera evaluación: 90 días	45
4.2.3.1. Variables morfológicas	45
4.2.3.2. Indicadores de calidad	47
5. DISCUSIÓN	52
6. CONCLUSIONES	57
7. BIBLIOGRAFÍA	58
8. ANEXOS	67

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No	
<b>Cuadro 1</b> .....	27
Diseño experimental.....	27
<b>Cuadro 2</b> .....	32
Características morfológicas al momento del establecimiento del ensayo.....	32
<b>Cuadro 3</b> .....	34
Resultados de la primera evaluación.....	34
<b>Cuadro 4</b> .....	40
Resultados de la segunda evaluación.....	40
<b>Cuadro 5</b> .....	46
Resultados de la tercera evaluación.....	46
Figura No	
Figura 1 Distribución natural de <i>E. smithii</i> en Australia.....	13
Figura 2 Morfología estructural del sistema radicular de plantines provenientes de semilla de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	18
Figura 3 Localización de Solís de Mataojo en Uruguay.....	24
Figura 4 Vivero Saucedo y ciudad Solís de Mataojo.....	24
Figura 5 Invernaderos del Vivero Saucedo.....	25
Figura 6 Temperaturas máximas, mínimas y promedios desde marzo a agosto en zona cercana al sitio experimental.....	26
Figura 7 Plantas del ensayo en área de rustificación de vivero Saucedo.....	28
Figura 8 Plantas del ensayo en área de rustificación de vivero Saucedo.....	28
Figura 9 Plantas luego de la pulverización de reguladores de crecimiento.....	29
Figura 10 Lavado de raíces en Departamento Forestal.....	30
Figura 11 Relación HD (altura/diámetro) en la primera evaluación.....	35
Figura 12 Relación parte aérea/radicular (A/R) en la primera evaluación.....	36
Figura 13 Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la primera evaluación.....	37

Figura 14 Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en la primera evaluación.....	38
Figura 15 Relación peso seco de hojas / peso seco de raíces (PSH/PSR) en la primera evaluación.....	39
Figura 16 Relación altura / diámetro (H/D) en la segunda evaluación.....	41
Figura 17 Relación parte aérea / radicular (A/R) en la segunda evaluación.....	42
Figura 18 Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la segunda evaluación.....	43
Figura 19 Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en la segunda evaluación.....	44
Figura 20 Relación peso seco de hojas / peso seco radicular (PSH/PSR) en la segunda evaluación.....	45
Figura 21 Relación altura/diámetro (H/D) en la tercera evaluación.....	47
Figura 22 Relación parte aérea / radicular (A/R) en la tercera evaluación.....	48
Figura 23 Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la tercera evaluación.....	49
Figura 24 Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en tercera evaluación.....	50
Figura 25 Relación peso seco de hojas / peso seco radicular (PSH/PSR) en la tercera evaluación.....	51

## RESUMEN

*Eucalyptus smithii* es una de las especies prominentes en el desarrollo forestal de Uruguay, la cual surge como una de las principales alternativas a *Eucalyptus globulus*, especie que ha sufrido un gran daño desde la aparición de *Teratosphaeria nubilosa* en el año 2007. *E. smithii* presenta características madereras, pulpables y silvícolas, como la resistencia a las heladas que la han posicionado en un sitio de interés para los productores forestales, sin embargo, en los últimos años se ha constatado problemas de mortandad en las primeras etapas del ciclo, sin un claro diagnóstico de la causa. Es entonces que surge el presente estudio con el fin de mejorar la calidad de plantines expedidos a campo mediante el uso de reguladores del crecimiento con efecto en el desarrollo radicular. El estudio se llevó a cabo en el vivero Saucedo, ubicado en Solís de Mataojo departamento de Lavalleja, Uruguay. Se realizó un diseño factorial completamente al azar, con 4 niveles de ácido naftalenacético (ANA) y 3 niveles de aminoetoxi-vinil-glicina (AVG), agrupando 12 tratamientos. La aplicación foliar se realizó a los 78 días desde la siembra, posteriormente se determinaron tres instancias de evaluación, a los 50, 70 y 90 días desde la aplicación. En estas se evaluaron características morfológicas de los plantines, y se calcularon indicadores de calidad. Algunos tratamientos evidenciaron mejoras en los indicadores de calidad, es el caso de la dosis intermedia ANA 600 / AVG 125 siendo este un posible tratamiento a implementar debido a que fue el tratamiento con mayor ICD (en última medición), obteniendo plantines con un mejor equilibrio entre la parte aérea y radicular, y a su vez no limitó el crecimiento en altura.

*Palabras Clave:* caracteres morfológicos, sistema radicular, indicadores de calidad, auxina, ANA, AVG.



## ABSTRACT

*Eucalyptus smithii* is one of the main species used in the Uruguayan forestry sector; it has arisen as an alternative to the introduction of *Teratosphaeria nubilosa* which caused several damages to *Eucalyptus globulus* plantations in 2007. The reason why *E. smithii* is chosen by forest producers is its wood, pulpable and silvicultural characteristics, as it can be its frost resistance. Nevertheless, plant mortality in early stages of the cycle without a clear diagnosis has been observed in the last few years. The objective of this research was to enhance seedlings quality indicators using growth regulators with effect on root development. The study took place in Saucedo nursery, located in Solís de Mataojo in Lavalleja province in Uruguay. The experiment was conducted in a completely randomized factorial design, with four levels of naphthalene-acetic acid (NAA) and three levels of aminoethoxy-vinyl-glycine (AVG), resulting in twelve treatments. The foliar application was made 78 days after sowing. Afterwards, there were three evaluation instances; at 50, 70 and 90 days after the application. Then the morphological parameters were evaluated and the quality of indicators of seedlings estimated. Some treatments had an improvement in quality indicators, as it was the case of intermediate dose ANA 600 / AVG 125 being a possible treatment to be implemented since it obtained the highest DQI value (in the last measurement instance) and achieved seedlings with an improved balance between shoot and root systems without limiting height growth.

*Keywords:* morphological parameters, root system, quality indicators, auxin, NAA, AVG

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el impulso generado por la implementación de leyes que regulan la producción forestal en Uruguay, se ha incrementado notoriamente esta actividad en el territorio. En los últimos 10 años, se verificó en el país una inversión extranjera directa de 4.500 millones de dólares. La forestación en la actualidad genera 3,8 % del PBI, 25.000 puestos de trabajo, 2.000 millones de dólares en exportaciones y 200 millones de dólares por año de recaudación impositiva (Sociedad de Productores Forestales [SPF], 2020). Se ha alcanzado una superficie total de 1.087.109 hectáreas efectivas (Dirección General Forestal [DGF], 2021a). Los principales géneros plantados son *Pinus spp.* ocupando el 20 % de la superficie forestada, y *Eucalyptus spp.* con el 80 % restante, donde *Eucalyptus smithii* ocupa 7200 ha (DGF, 2021a; Rachid et al., 2021). *E. smithii* es la tercera especie más producida a nivel nacional en viveros forestales, siendo propagado en su totalidad mediante semillas (DGF, 2021b).

El aumento de la producción de plantines de *E. smithii* pasó de los 1.1 millones en 2015 a 11 millones en 2021, representando el 7,6 % del total según lo declarado por los viveros del país (DGF, 2021b). Este crecimiento se encuentra asociado a su rol de sustituto de *Eucalyptus globulus*, esta última especie ha sufrido un daño muy elevado en sus plantaciones tras el ingreso al país, debido a su susceptibilidad a la acción de *Teratosphaeria nubilosa*. En cuanto a la producción forestal, el *E. smithii* presenta características similares a las del *E. globulus*, tal como su buen crecimiento y rendimiento pulpable. En la región sureste del Uruguay, las plantaciones con *E. smithii* presentan una altura dominante a los 8 años que varía entre 23 a 29 m, con un buen rendimiento anual promedio de 22,5 m<sup>3</sup>/ha/año. Además, posee altos valores de densidad de la madera, con valores reportados entre 521 y 617 kg m<sup>-3</sup>, y un rendimiento pulpable entre 45 y 50 %, así como posee alta capacidad de rebrote y moderada tolerancia a las heladas. Las características de alto rendimiento en la producción de pulpa de celulosa, y su aceptación en los mercados internacionales lo sitúan como una gran alternativa (Rachid et al., 2021).

La principal desventaja de la especie es que se han reportado serios problemas asociados a la mortalidad de ejemplares durante los 2 primeros años de las plantaciones con un promedio de 30 a 40 %. En cuanto a la muerte, se le ha denominado como “muerte súbita” debido a que se da muy rápidamente en unos 15 días (Rachid et al., 2021). Hasta el momento, no se han confirmado las causas exactas de las fallas en campo. Se han generado en los últimos años, una serie de investigaciones las cuales han encontrado que la mortalidad es muy variable y en distintas circunstancias (De Benedetti & Freire, 2019; Rachid et al., 2021). Debido a esto, se hipotetiza que podría estar asociado a un conjunto de factores como pueden ser aspectos climáticos, efectos de sitio, manejo silvícola, patógenos asociados y factores intrínsecos del material genético. Un sistema radicular deficitario podría estar involucrado, en ese sentido, se inicia una nueva línea de estudio, centrando el foco en el efecto de los niveles de hormonas en procesos biológicos de las plantas, ya que se ha evidenciado el efecto de la

aplicación de reguladores del crecimiento sobre la calidad del desarrollo radicular de los plantines (Gutiérrez Caro, 1995). En base a esto se realiza el presente estudio evaluando el efecto de la aplicación de dos reguladores de crecimiento, el ácido naftalenacético (ANA) y la aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) en el desarrollo de raíces de plantines de *E. smithii*.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivos generales

Colaborar con la mejora en la calidad de plantines de *E. smithii* de origen seminal mediante la aplicación de reguladores de crecimiento.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto del ácido naftalenacético (ANA) y de la aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) sobre el desarrollo morfológico de plantines de *E. smithii*.

Determinar la combinación de dosis que generen plantines con mejores índices de calidad.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

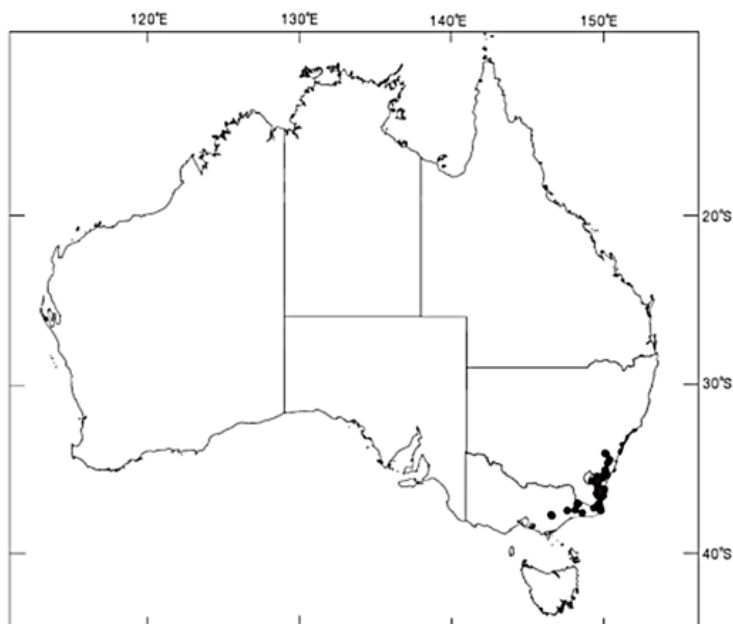
### 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

Según Brussa (1994) *E. smithii* es un árbol de gran porte, que posee una corteza áspera la cual se desprende en las partes superiores del tronco y cuelga de las ramas en formas de largas fajas, su follaje es péndulo y de textura gruesa, presenta dimorfismo foliar; siendo opuestas y sésiles cuando son juveniles, las hojas adultas son alternas, falcadas, con un ápice agudo y concoloras. Agrega que en cuanto al color son verdes pálidos y presentan un gran aroma y sus frutos son globosos pedicelados de tamaño pequeño como resultado de inflorescencias simples axilares.

Según Boland et al. (2006), *E. smithii* se distribuye naturalmente en Australia, desde el extremo sur de la meseta centro sur y los acantilados costeros, hacia las tierras del sur de Nueva Gales del Sur (figura 1). Además, aparece en Victoria, en el este de la región de Gippsland. Específicamente entre la latitud 34-37.5 °S, la altitud ronda los 1100 m hasta el nivel del mar. En cuanto al clima, este es variado, desde templado a frío, con temperaturas mínimas promedio en los meses fríos de -2 a -6 °C y en los meses cálidos entre 22 a 28 °C. La ocurrencia de las heladas en sitios bajos puede llegar a más de 100 por año, aunque en las zonas costeras sucedan con menos frecuencia. Las precipitaciones son relativamente homogéneas en el año con una media anual de 750 a 1100 mm (Brussa, 1994; Boland et al., 2006). La especie crece en suelos franco-arcillosos a franco limosos, de origen basáltico. En Uruguay fue introducido a comienzos del siglo XX por A. Lussich distribuyéndose en pequeña escala por el territorio (Brussa, 1994).

## Figura 1

*Distribución natural de E. smithii en Australia.*



*Nota.* Tomado de Boland et al. (2006).

Entre todas las características de *E. smithii* los aceites esenciales que posee es una de ellas. Los contenidos cineol, aceite obtenido de las hojas de *Eucalyptus*, oscilan entre un 75 a 84 %. Asimismo, otras de sus características como la resistencia a bajas temperaturas ha generado que se incluya en planes forestales con destino a madera para celulosa, ya que permite una extensión hacia partes bajas de los terrenos y un mayor periodo de plantación (Boland et al., 1991). En un análisis de muestras de madera y holocelulosa, *E. smithii* mostró los valores más bajos de Crl (cristalinidad por difracción de rayos X) y degradación térmica de la celulosa. En cuanto a la alfa-celulosa de *E. smithii* mostró el Crl más alto (Carrillo et al., 2018). Otra importante referencia en cuanto a las propiedades de la madera de esta especie es la densidad, en este estudio los diferentes *Eucalyptus* estudiados oscilaron entre 420 y 484 kg m<sup>-3</sup>, siendo *E. globulus* y *E. smithii* los más altos (Carrillo et al., 2018).

Considerando las características del *E. smithii* en la fase agraria de la producción forestal, se ha evidenciado crecimientos comparables a otras especies comúnmente utilizadas en plantaciones comerciales en el país, mostrando niveles de sobrevivencia cercanos al 78 % y una productividad promedio de 23 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, en suelos desarrollados sobre areniscas triásicas en Tacuarembó (Balmelli & Resquín, 2002). No obstante, este buen desempeño puede variar sensiblemente en otros sitios de menor aptitud forestal, así como por eventos climáticos adversos como las heladas, las cuales han demostrado deprimir significativamente su comportamiento (Uranga Priore, 2009). Además, se verificó que *E. smithii* presenta gran variabilidad dependiendo del sitio de procedencia de la semilla, reportándose que fue la especie más variable

dependiendo del origen, siendo el origen del sur del territorio de Victoria el que presentó los mejores crecimientos (Uranga Priore, 2009).

### 2.1.1. Mortalidad de *Eucalyptus smithii*

Según De Benedetti y Freire (2019), desde que se iniciaron las plantaciones de *E. smithii* en Uruguay, se ha reportado una elevada incidencia de árboles con sintomatología de marchitamiento y muerte. Esta circunstancia se da en los primeros años del ciclo de producción. Los síntomas que se verifican a campo son: amarillamiento, seguido por un gradual enrojecimiento de la copa, sin dejar caer las hojas de las ramas. Además, señalan que este tipo de sintomatología se relaciona en muchas ocasiones con problemas radiculares, tales como podredumbres en esa zona, y en la base del tallo y deformación en el desarrollo radicular. Posteriormente, genera caída y muerte de individuos. Erwin y Rivero (1996), como se cita en De Benedetti y Freire (2019), relaciona esta sintomatología con patógenos del grupo Oomycetes como posible agente causal, y dentro de este grupo posiblemente a especies del género *Phytophthora*. En este sentido Agrios (2005) especifica algunos síntomas generados por *Phytophthora spp.* en *Eucalyptus*, los cuales se caracterizan por la presencia de canchros, necrosis y podredumbre en raíces, generando muertes de los ejemplares en muchas ocasiones. Además, hace referencia a sistemas radiculares con poco desarrollo. A nivel de la parte aérea, el autor describe la presencia de clorosis y necrosis foliar, manchas, marchitez, caída de hojas, y muerte. Todas estas sintomatologías se traducen en muertes y pérdida de potencialidad de la especie. A su vez, De Benedetti y Freire (2019) concluyen que *Phytophthora alticola* es la especie de oomycete que con mayor frecuencia es asociada a plantas jóvenes de *E. smithii* y seguida por *Pythium spp.* en Uruguay.

## 2.2 PRODUCCIÓN DE PLANTINES

### 2.2.1. Importancia de la semilla en la silvicultura

La propagación de especies arbóreas por semilla es el método más tradicional en la producción de plantines forestales, en el cual la calidad de éstas interfiere de forma considerable en el éxito de las plantaciones que se efectúan a partir de ellas. Está ampliamente aceptado que la utilización de semillas viables procedentes de área de producción de semilla, como los huertos semilleros o áreas de colecta con matrices marcadas, es una forma de garantizar el suministro de semilla de adecuada calidad genética para la obtención de plantaciones de alto crecimiento y rendimiento (White et al., 2007). En términos económicos, la semilla tan solo representa un 2 % del costo total de plantación, sin embargo, una mala elección de esta puede desencadenar problemas de gran magnitud en el mediano y largo plazo (Mesén, 1990).

La calidad de la semilla engloba conceptos tales como la calidad fisiológica, genética, sanitaria y física. Por tanto, la calidad está determinada por la interacción entre estos factores, que en su conjunto determinan los atributos de un lote de semillas (França-Neto, 2009). En general se considera una semilla

de alta calidad cuando la misma tiene la capacidad de germinar rápidamente, dando como origen una planta normal y sana, en un estado sanitario óptimo y con todas sus estructuras fundamentales desarrolladas (Nascimento et al., 2011).

### 2.2.2. Procedencia de la semilla

El término procedencia hace referencia al sitio del que proviene determinado grupo de semillas que comparten características genéticas y fenotípicas similares y que se desarrollaron en una zona con condiciones ambientales uniformes (Alía et al., 2009). Incluso dentro de un mismo país se encuentran distintas procedencias o razas de una especie; unas pueden presentar diferencias morfológicas, mientras que otras, de idéntico aspecto, pueden diferir en su adaptabilidad a determinados sitios (Willan, 1991).

Los árboles que crecen en un bosque natural presentan un gran nivel de adaptación a las condiciones climáticas locales, y mediante herencia genética logran transmitirlo a las siguientes generaciones. Las semillas sólo logran dispersarse distancias relativamente cortas, por lo que es probable que se encuentren en un ambiente similar al que desarrollaron sus progenitores (Gutiérrez Caro, 2019). En cambio, al establecer un rodal artificial se incrementa la distancia entre el sitio en donde se produjeron las semillas y el de plantación, por lo que no hay certezas que el material genético posea la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales (Gutiérrez Caro, 2019).

La selección de la procedencia adecuada para establecer una plantación reviste de la misma importancia que la elección de la especie, puesto que de ella dependerá que esta se adapte y exprese su potencial de crecimiento en un sitio determinado (Prado, 1989). Por lo tanto, el éxito de una plantación forestal se basa en la correcta selección de especies, sus procedencias y el manejo silvícola. La correcta selección del material genético es fundamental para obtener buenos rendimientos (Callaham, 1964, como se cita en Fontana et al., 2020), así como también lo es la procedencia geográfica ya que las plantas se adaptan mejor en sitios donde crecen por selección natural (White et al., 2007).

En el estudio realizado por Konzen et al. (2017) los autores muestran cómo distintas procedencias de *Eucalyptus benthamii* y *E. smithii* afectan los parámetros de diámetro a la altura del pecho, altura, volumen y rectitud, presentando diferencias significativas entre las mismas. Un ensayo similar al anterior verificó diferencias significativas en distintas procedencias de *E. globulus*, al analizar las variables supervivencia e incremento en altura, constatando así la influencia de la procedencia en determinantes del rendimiento (Guajardo Garate, 1997).

A lo largo del último medio siglo se ha venido acumulando de manera constante las pruebas de que, dentro de una especie botánica, la variación genética significativa que se produce en árboles forestales suele estar asociada a diferencias geográficas entre los lugares en los que crecen (Lym Yong et al., 2019). Así ocurre especialmente cuando el desplazamiento geográfico va unido a cambios climáticos o de suelos. Por ello, el término “procedencia” se aplica cada vez más a zonas caracterizadas por la naturaleza genética de las

poblaciones que crecen en ellas, y no sólo por su ubicación (Lym Yong et al., 2019).

### 2.2.3. Proceso de producción de plantines seminales

Existen diferentes opciones cuando se selecciona la propagación por semilla. La siembra directa es el método tradicionalmente utilizado, el cual consiste en colocar semillas directamente en el sustrato de un contenedor, permitiendo que germinen en su lugar (Hartmann et al., 1990). Las plantas se pueden dejar crecer en el mismo envase hasta el momento de expedición a campo o, por el contrario, pueden ser trasplantadas a contenedores de mayor tamaño (trasplantes de contenedor), o colocadas en camas de crecimiento en viveros a raíz desnuda (trasplantes de cepellón) (Landis et al., 1989). Una segunda opción consiste en sembrar semillas en recipientes poco profundos, manteniéndose húmedas y después plantar los germinantes (semillas germinadas) en contenedores para su crecimiento (Landis et al., 1989). El trasplante de emergentes consiste en sembrar semillas en recipientes poco profundos y permitir que éstas germinen y las plantas emerjan. Los “emergentes” jóvenes son trasplantados en el contenedor para su crecimiento y finalizar su desarrollo (Landis et al., 1989).

### 2.2.4. Germinación

La reproducción sexual genera nuevas plantas las cuales tienen una fase inicial a partir del embrión de la semilla, lo que originalmente era el óvulo. La posterior maduración de la semilla funcionará como unidad de dispersión de la especie (Vernego, 2000). Para que estas semillas se ratifiquen como nuevas plantas, debe suceder el proceso denominado germinación, que consta fundamentalmente del paso de una semilla en reposo a una con alto nivel de metabolismo, desencadenando la emergencia de la plántula (Vernego, 2000)

La germinación sucede en tres procesos parcialmente simultáneos: imbibición, germinación y crecimiento (Fernández & Johnston, 2006). En la primera fase ocurre la absorción de agua, mayormente por imbibición, generando que la semilla se expanda y termina abriéndose la cubierta seminal. Una vez la semilla se ha hidratado, se da lugar a una activación generalizada del metabolismo, incrementándose las tasas de respiración y asimilación, que indican el uso de alimento reservado y su transposición a las zonas en crecimiento. En la última fase se produce el crecimiento y emergencia de la radícula (Pita Villamil & Pérez García, 1998).

## 2.3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL SISTEMA RADICULAR

El sistema radicular es un componente fundamental en la conformación de una planta, puesto que este brinda funciones físicas como el anclaje al suelo, y fisiológicas tales como la absorción de agua y nutrientes (Jung & McCouch, 2013). La velocidad con la que se desarrolla el sistema radicular, y la extensión que alcanza en el plano vertical y horizontal puede afectar el vigor de la planta como consecuencia de la competencia entre plantas vecinas por recursos limitantes (Jung & McCouch, 2013).



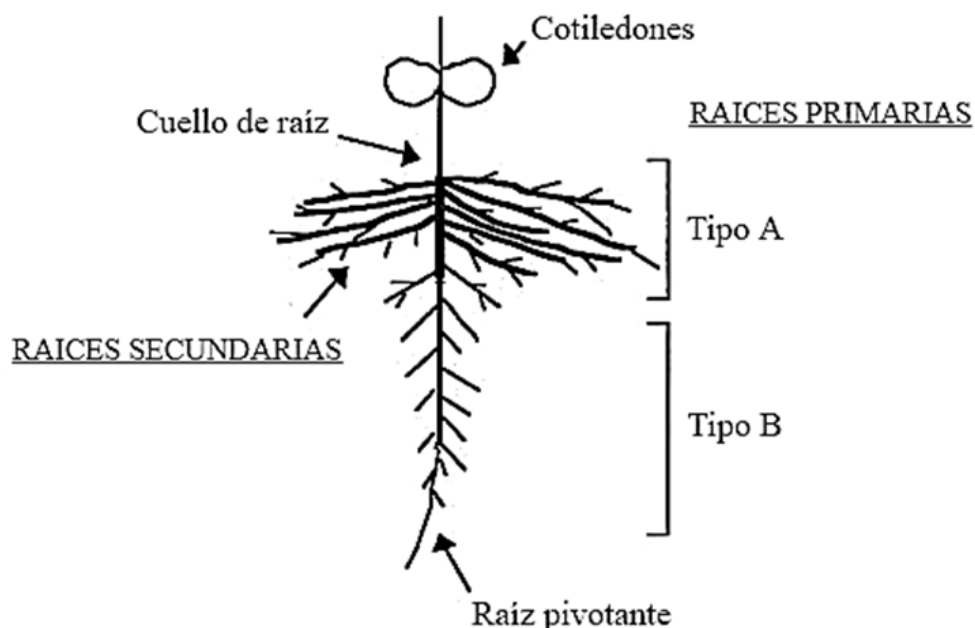
Si bien el ambiente tiene un gran efecto sobre la arquitectura del sistema radicular, considerando que esta es una característica morfológica la misma es altamente influenciada por el componente genético (Castle et al., 2009). El rendimiento de una planta está condicionado en gran medida por la arquitectura de su raíz, teniendo en cuenta que muchos de los recursos del suelo se encuentran desigualmente distribuidos o se ubican concentrados en un punto en particular. Es por esto por lo que el grado de desarrollo que alcance el sistema radicular determinará la capacidad de explotar dichos recursos (Lynch, 1995).

Según Postma et al. (2014) una de las principales estrategias para la absorción de nutrientes y su uso eficiente implica una ubicación conjunta de las raíces a los mismos, lo cual está vinculado a características arquitectónicas que determinan el lugar en el que se ubican las raíces en el suelo, generando mayor cantidad de raíces en el plano horizontal y vertical debido a que es en dicha zona en donde se encuentra una disponibilidad adecuada de nutrientes.

Existe una importante diferencia entre los sistemas radiculares de plantines obtenidos mediante la siembra de semillas, y aquellos generados a partir de propagación vegetativa (Hartmann et al., 1990). Como se observa en la figura 2, el sistema estructural de raíces de una planta proveniente de semilla consta de tres componentes, la raíz principal y dos tipos de raíces primarias. Las raíces que emergen de las primarias son las secundarias, y de estas últimas se originan las terciarias. La raíz principal también llamada pivotante, es fuertemente gravitrópica, está bien definida y se reconoce con facilidad (Sasse & Sands, 1997).

**Figura 2**

*Morfología estructural del sistema radicular de plantines provenientes de semilla de Eucalyptus globulus.*



*Nota.* Elaborado a partir de Sasse y Sands (1997).

Se define como raíz primaria a aquellas raíces que salen directamente de la raíz pivotante, diferenciándose en dos tipos. Las raíces ubicadas más cercanas a la superficie del suelo a lo largo de los dos primeros centímetros de la raíz pivotante son denominadas raíces primarias tipo A, las mismas se caracterizan por ser fuertemente diagravitrópicas<sup>1</sup> y formar una densa trama radial debajo de la superficie del suelo (Sasse & Sands, 1997). A lo largo del resto de la raíz principal se ubican las raíces primarias tipo B, se distinguen de las anteriores por ser más finas, presentarse distribuidas con mayor espaciamento y ser plagio gravitrópicas (Sasse & Sands, 1997).

#### 2.4. ÍNDICES DE CALIDAD DE PLANTINES

En silvicultura una planta es catalogada como de buena calidad cuando una vez establecida en la plantación, es capaz de lograr la mayor tasa de sobrevivencia y crecimiento inicial en un sitio en particular, por lo que, la prueba final para una planta proveniente de vivero es su desempeño en la plantación (Escobar Rodríguez, 1994). Así se entiende que la viverización es una etapa fundamental en el ciclo forestal puesto que es en dicho momento cuando los atributos morfológicos, fisiológicos y sanitarios son manipulados y son estos los determinantes de la calidad (Quiroz Marchant et al., 2009).

<sup>1</sup> Crecimiento de un órgano de la planta de forma perpendicular a la gravedad.

Un programa de forestación con resultados satisfactorios tiene una dependencia directa con la calidad de planta que producen los viveros. La calidad óptima puede asegurar una alta probabilidad de sobrevivencia y otorga la capacidad de desarrollarse a partir de que es establecida en el sitio definitivo, el medio ambiente interactúa con los caracteres genéticos, fisiológicos y morfológicos determinando el éxito (Rodríguez Laguna, 2010).

La baja sobrevivencia y el limitado crecimiento inicial de los plantines son dos de las problemáticas que enfrentan los productores en el momento del establecimiento del rodal y esto es en gran medida debido a la calidad con la que las plantas son expedidas desde el vivero (García, 2007). Así como, el uso erróneo de especies, genotipos, la mala preparación y planificación silvícola en cuanto a laboreos, falta de seguimiento, de protección del cultivo, y en gran medida la deficiencia de calidad de las plantas genera que el éxito de las plantaciones forestales se vea limitado (Sáenz Reyes & Lindig, 2004 como se cita en Sáenz Reyes et al., 2014).

Para la valorización de la calidad de los plantines en etapa de expedición se utilizan parámetros morfológicos y fisiológicos, siendo los primeros los más utilizados por los viveristas (Gomes et al., 2002). Algunos de estos son: la altura, el diámetro basal del tallo o el cuello, tamaño, arquitectura del sistema radicular, como también la relación altura/diámetro del cuello, la relación tallo/raíz, presencia de yema terminal y micorrizas, color foliar, sanidad, peso seco de los tallos, del follaje y de la raíz. En aspectos fisiológicos se destacan: resistencia al frío, días para que la yema inicie crecimiento, potencial hídrico, contenido nutricional y de carbohidratos, tolerancia a déficit hídrico, fotosíntesis neta, y capacidad de emisión de nuevas raíces (Prieto Ruíz et al., 2003; Prieto Ruíz et al., 2009).

La calidad de las plantas a nivel de vivero se ve modificada al realizar variaciones en las prácticas de manejo tales como el tipo de sustrato, el régimen de fertilizaciones, los programas de riego, la densidad de plantas por metro cuadrado (Rodríguez Laguna, 2010). Las características del contenedor (envase) y la profundidad de este condicionan la estructura radicular, existiendo una correlación entre los contenedores de mayor volumen y las plantas de mayores dimensiones (Domínguez Lerena et al., 1997). La altura del contenedor tiene gran influencia en el desarrollo del sistema radicular en las especies con raíz pivotante. En *Quercus ilex* se han verificado relaciones significativas entre la profundidad del contenedor y la sobrevivencia de la planta en campo al momento de trasplantarse (Domínguez Lerena, 2000).

Un plantín posee relaciones morfológicas adecuadas cuando su altura está proporcionada con su diámetro a la altura del cuello. La morfología que presenta la planta puede estar manifestando carencias o excesos por parte del ambiente, así una planta delgada puede ser a consecuencia de una alta densidad, mientras que un pequeño porte puede estar carente de un volumen adecuado de sustrato (Coppola Novo et al., 2000). Las plantas deben tener relaciones proporcionales entre el área foliar y volumen radicular, masa de parte aérea y masa radicular, la altura y el diámetro. De estas relaciones surgen los

índices de calidad de plantines mencionados a continuación para facilitar la evaluación de calidad (Coppola Novo et al., 2000).

Relación entre la altura y el diámetro al cuello (HD): este índice relaciona la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) (Luna, 2019). Quiroz Marchant et al. (2009) sugiere que los valores deseados del indicador se ubican entre 5 y 10, indicando una calidad de planta óptima. Mientras que valores superiores a 10 manifiestan una planta muy alta en relación con el diámetro a la altura del cuello, por el contrario, relaciones menores a 5 sugieren una desproporción en la relación, indicando escasa altura.

Índice de Calidad de Dickson (ICD): Surge de integrar los valores de peso seco total, la relación HD, y la relación entre el peso seco de la parte aérea y del sistema radicular (Dickson et al., 1960). Al involucrar la relación entre masa seca total y radicular, resulta en uno de los índices más relevantes debido a que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor (García, 2007). Un aumento en el indicador indica plantas de mejor calidad manifestando un desarrollo adecuado al mismo tiempo que conserva el equilibrio entre la parte aérea y la radicular (Oliet, 2000). Un valor de 0,2 fue establecido como aceptable en plantas creciendo en contenedores de 50 a 60 cm<sup>3</sup>, y un periodo de crecimiento de 120 días desde la emergencia de la semilla (Hunt, 1990).

Índice de proporcionalidad biométrica (IPB) o Relación biomasa seca aérea/biomasa seca radicular: este índice relaciona el peso seco de la parte aérea y el peso seco del sistema radicular. La producción de biomasa es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero (Rodríguez como se cita en Sáenz Reyes et al., 2014). Por lo tanto, una buena calidad de planta es obtenida cuando la parte aérea está proporcionada en sus dimensiones con la biomasa radicular, ya que esto garantiza una mayor sobrevivencia al evitar que la evapotranspiración exceda la capacidad de absorción, siendo 2 un valor óptimo de la relación (May, 1984).

## 2.5. HORMONAS VEGETALES Y REGULADORES DE CRECIMIENTO

Las hormonas vegetales son moléculas sintetizadas internamente por las plantas que a bajas concentraciones tienen la capacidad de interferir en los procesos fisiológicos y bioquímicos (Izumi et al., 2009). Los cambios en los niveles de concentración y la sensibilidad de los tejidos a las hormonas modulan la respuesta hormonal, pudiendo estos factores ser afectados por señales ambientales y consecuentemente conducir a una alteración en los programas de desarrollo de las plantas (Segura García del Río, 2008).

Gracias a la biotecnología ha sido factible la producción sintética de reguladores del crecimiento que cumplen el mismo rol que las fitohormonas naturales, permitiendo enfrentar problemáticas surgidas en el proceso de producción, así como también potenciar el rendimiento de los cultivos (Alcantara

Cortes et al., 2019). Desde que es sabido cual es el impacto que las hormonas generan en la fisiología de las plantas, la industria agroquímica se ha enfocado en producir formulaciones a base de compuestos hormonales. De esa manera surge el concepto de los biorreguladores hormonales o fitohormonas. Un regulador del crecimiento es un compuesto que posee la capacidad de promover, inhibir o modificar los procesos de las plantas al ser aplicados a bajas concentraciones (De Camargo e Castro et al., 2009).

### 2.5.1. Auxinas

Entre los principales reguladores del crecimiento se encuentran las auxinas, cuyo término deriva de la palabra “*auxein*”, que significa crecer. El ácido indolacético (AIA) es la forma predominante de auxinas naturales sintetizadas en las plantas, siendo responsables de regular procesos tales como la división, expansión y diferenciación celular, formación de raíces laterales, floración y regulación de los tropismos (Woodward & Bartel, 2005; Munguía Rodríguez & Martínez Trujillo, 2018). Otras formas naturales de auxinas son el ácido fenilacético (PPA), y el ácido indol butírico (IBA) (Ludwig-Müller & Cohen, 2002).

El ácido indolacético se ve involucrado en todos los aspectos relacionados al crecimiento de la planta, siendo el principal factor en una compleja cadena de interacciones hormonales (Ross et al., 2002). Generalmente la acción realizada por las auxinas depende de su concentración, dado que a bajas concentraciones es promotora del crecimiento, motivando la elongación de hipocótilos, tallos y raíces, mientras que a altas concentraciones promueve la epinastia, proliferación del tejido del tallo, formación de raíces adventicias e inhibición del crecimiento de raíces y brotes (Sterling & Hall, 1997).

Las auxinas se producen en zonas de activo crecimiento como lo son los meristemas apicales del tallo, hojas jóvenes y frutos en desarrollo. Existen dos vías principales de biosíntesis, la dependiente del triptófano y la independiente del triptófano (Jordán & Casaretto, 2006a). Su degradación es mediante dos vías oxidativas las cuales son irreversibles y los productos que resultan de la oxidación no tienen actividad biológica. La vía de oxidación descarboxilativa sucede cuando la pérdida es de CO<sub>2</sub> en el grupo COOH de la cadena lateral y la vía no descarboxilativa cuando sí se conserva la cadena y hay formación de ácido oxi-indol acético (Acosta et al., 2008). La mayoría de las auxinas en la planta están en forma conjugada (unión covalente del AIA con otra molécula como aminoácidos o glucosa) para cumplir las funciones de almacenamiento, transporte y protección contra la degradación oxidativa. Cuando está conjugada pierde la capacidad de tener una acción biológica (Acosta et al., 2008).

En cuanto al transporte, como toda hormona las auxinas son capaces de recorrer distancias cortas por medio de la difusión y llegar a los distintos órganos por medio del floema y xilema. El AIA además puede ser transportado por células no vasculares mediante el transporte polar, desde el ápice hacia la base del tallo (basípeto) esto implica que es indiferente si la posición del tallo es normal o invertida. En la raíz el transporte se da en tres direcciones: acrópeto, basípeto y lateral, donde el movimiento del AIA requiere de gasto energético, ya que necesita oxígeno y ausencia de inhibidores de la síntesis de ATP (Acosta et al., 2008).

### 2.5.2. Ácido naftalenacético

El ácido naftalenacético (ANA) es una auxina sintética que suele ser más eficaz que el AIA (Salisbury & Ross 2000, como se cita en Pinto-Acero et al., 2012), ya que no es destruida por la AIA oxidasa y esto hace que persista

más tiempo en el sustrato. El ANA es un regulador de crecimiento que estimula el desarrollo de raíces y que puede combinarse con la citoquinina para controlar la formación de brotes y raíces (Arditti 1990, como se cita en Pinto-Acero et al., 2012). El ANA induce la formación de raíces en los callos no diferenciados y ayuda a estimular la división celular (Pinto-Acero et al., 2012). En fruticultura, dependiendo del momento de aplicación, puede ser empleado en el raleo químico de frutos, permitiendo obtener un mayor tamaño de los mismos y producciones constantes entre años (Guardiola & García-Luis, 2000). La aplicación de ANA promueve la síntesis de etileno induciendo a la abscisión de los frutos (Guardiola & García-Luis, 2000).

### 2.5.3. Efecto de las auxinas en el enraizamiento

Las auxinas están íntimamente asociadas al proceso de rizogénesis puesto que estas regulan la división celular. La aplicación exógena de auxinas naturales como ácido indol-3-acético (AIA) o sintéticas como ácido naftalenacético (ANA) y ácido 3-indolbutírico (AIB), es una práctica común en horticultura y en la propagación *in vitro* (Woodward & Bartel, 2005; Jordán & Casaretto, 2006a). Al utilizar este regulador del crecimiento, se estimula las células indiferenciadas que promueven la iniciación del enraizamiento o la emergencia de raíces adventicias (Woodward & Bartel, 2005; Jordán & Casaretto, 2006a).

Desde la década de los 80' existe evidencia de la participación de las auxinas en la regulación del desarrollo de las raíces laterales, en ausencia de aplicaciones exógenas de auxinas, las raíces laterales son iniciadas en una secuencia acropetal y desde el momento de la aplicación hormonal, las nuevas raíces laterales son formadas a lo largo de la raíz primaria (Blakely et al., 1988, Kerk, 1990, como se cita en Laskowski et al., 1995).

Los efectos que desencadenan las auxinas y las citoquininas en el crecimiento radical son antagónicos, esta última lo inhibe a través de su efecto sobre la división y diferenciación del ápice radicular y en el periciclo de la raíz principal, en tanto las auxinas aumentan la masa radical mediante la diferenciación de ramificaciones laterales (De Smet, 2012). Es por esto que las auxinas son responsables del proceso de desarrollo de nuevas raíces laterales, al inducir divisiones en las células periclinales encargadas de formar células fundadoras de la raíz lateral (De Smet, 2012). El efecto de las aplicaciones de auxinas cambia la respuesta fisiológica de la raíz según su concentración. Mientras que la raíz principal inhibe su elongación a dosis elevadas de auxinas ( $10^{-8}$  M), las raíces laterales y las raíces adventicias se ven estimuladas ante esta dosificación (Taiz & Zeiger, 2006). Ensayos de enraizamiento realizados en esquejes de *Myrciaria dubia*, encontraron que inmersiones de 30 minutos en  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA incrementa el porcentaje de enraizamiento (Oliva-Cruz & López, 2005). En tanto, la aplicación de AIB en plantines de tomate permitió obtener plantas con mayor cantidad de raíces y una mejor calidad de las mismas, adelantando el ciclo de producción en una semana cuando se dosificaron  $5$  y  $7 \text{ mg L}^{-1}$  (Cuesta & Mandoca, 2014).

#### 2.5.4. Etileno

El etileno es la única hormona gaseosa vegetal, dicha característica le otorga la capacidad de desplazarse rápidamente por los tejidos, y son suficientes bajas concentraciones de este para desencadenar su efecto (Jordán & Casaretto, 2006b). En cuanto a los efectos fisiológicos del etileno se lo asocia a procesos de inhibición de crecimiento, sin embargo, su efecto es dependiente de la interacción y balance con las demás hormonas (Muñoz, 2016). Dentro de los efectos fisiológicos se encuentra la estimulación de la germinación de la semilla, siendo que la biosíntesis del etileno es promovida con la ruptura de las cubiertas de las semillas y con la emergencia de la radícula. Otro efecto está directamente relacionado a la inhibición del crecimiento del tallo y raíz (Lafuente & Zacarías, 2008). Como forma de modificar los niveles endógenos de etileno, la aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) es utilizada para la inhibición de su biosíntesis de etileno ya que, mediante la unión al sustrato PLP, bloquea la acción de la enzima aminociclopropano-1-carboxilato sintasa (ACC) (Johnson & Colgan, 2003 como se cita en Balaguera-López et al., 2014), que participa en la biosíntesis del etileno (Lafuente & Zacarías, 2008). En fruticultura, la utilización de AVG ha demostrado ser propicio para disminuir la caída de frutos y retrasar la maduración (Saltveit, 2005).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

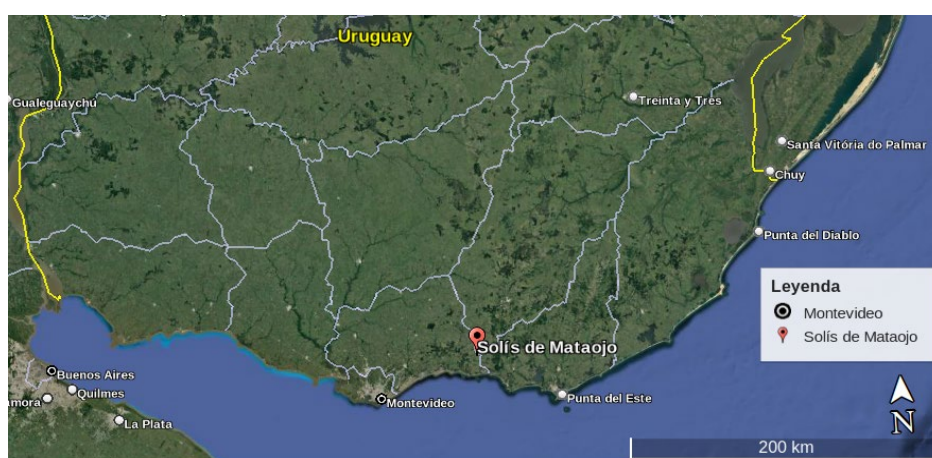
#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación del sitio

El experimento fue realizado en las instalaciones del vivero Saucedo (figura 5), ubicado sobre la ruta 8 en el km 80, en la localidad de Solís de Mataojo, en el departamento de Lavalleja (figuras 3 y 4).

#### **Figura 3**

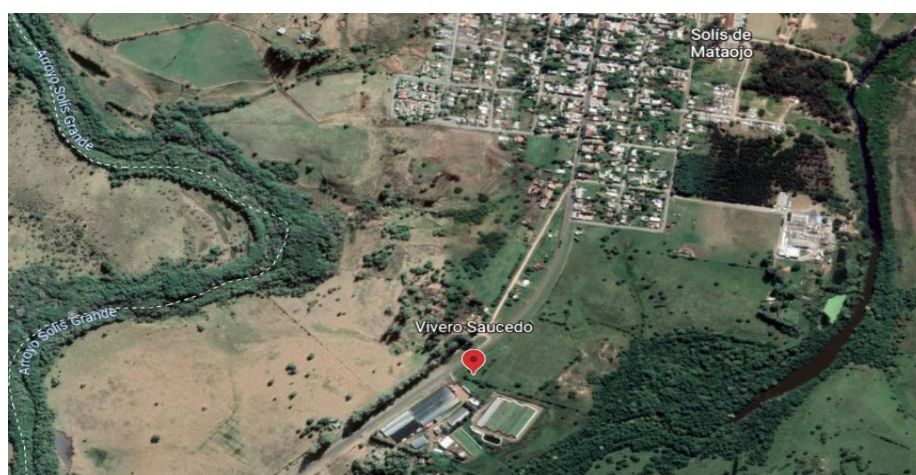
*Localización de Solís de Mataojo en Uruguay*



*Nota.* Tomado de Google (2023a).

#### **Figura 4**

*Vivero Saucedo y ciudad Solís de Mataojo.*



*Nota.* Tomado de Google (2023b).



## Figura 5

*Invernaderos del Vivero Saucedo.*



### 3.1.2 Clima asociado

En cuanto a la caracterización agroclimática, en general Uruguay presenta una temperatura media anual de 17,7 °C, que varía de 19,8 °C en el norte a 16,6 °C en el sur, más precisamente en el departamento de Lavalleja las temperaturas medias altas ocurren en los meses de diciembre, enero y febrero con un valor aproximado de entre 25 y 28 °C, mientras que las temperaturas más bajas ocurren en junio, julio y agosto con un valor aproximado entre los 5 y 8 °C. En cuanto a la precipitación los valores medios acumulados anuales se ubican entre 1200 y 1600 mm, Lavalleja presenta una precipitación acumulada aproximada de 80 mm en enero y de 100 mm en julio. La humedad relativa del aire promedio en Uruguay tiene valores de 70 y 78 %. Lavalleja en enero presenta un valor de 70 % y en julio de un 80 % (Castaño et al., 2011). Para la descripción de la condición climática durante el experimento los datos fueron recabados de la estación meteorológica más cercana disponible, ubicada en las coordenadas geográficas 34° 1'S y 55° 40'O, en la localidad de Casupá, departamento de Florida.

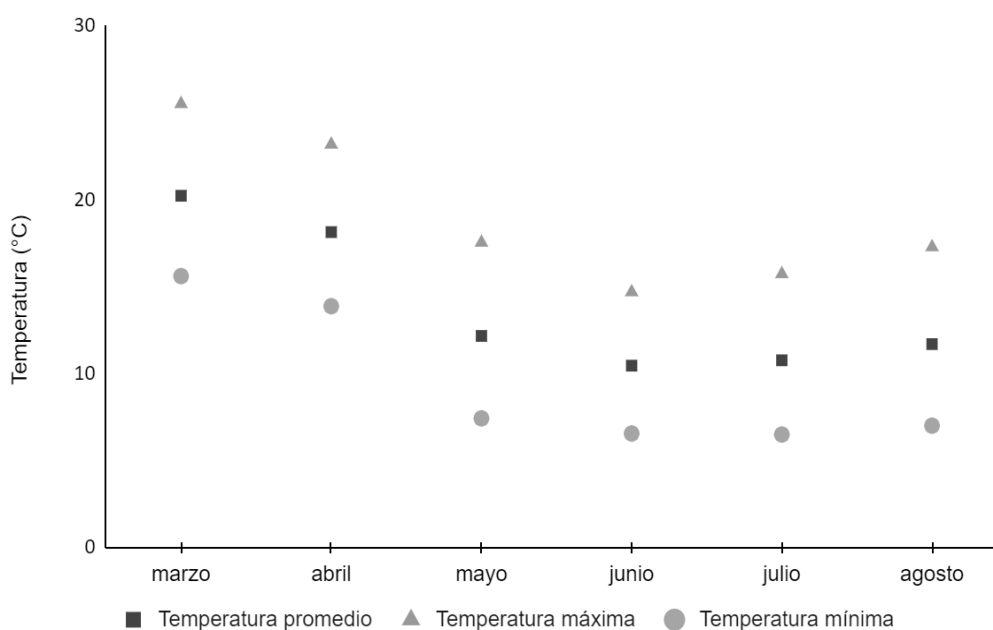
### 3.1.3. Temperaturas promedio, máximas y mínimas para el periodo de influencia

A continuación, la figura 6 presenta las temperaturas promedio, máximas y mínimas durante los meses en los cuales las plantas han crecido en el vivero. Las temperaturas máximas promedio diarias se dieron en el inicio del ciclo de

crecimiento de las plantas del ensayo con temperaturas cercanas a los 27 °C. Mientras que las temperaturas mínimas promedio se dieron en los meses de junio y julio siendo cercanos a los 7 °C. Las temperaturas promedio diarias se encontraron en un rango de valores aproximado a los 20 °C al comienzo del ciclo y 10 °C en los meses de junio y julio. En cuanto a la amplitud térmica, esta se mantuvo constante en los distintos meses, alrededor de 8 °C.

### Figura 6

*Temperaturas máximas, mínimas y promedios desde marzo a agosto en zona cercana al sitio experimental.*



A continuación, se describirán los procedimientos, materiales y metodología utilizados para la realización del experimento de evaluación del efecto de reguladores de crecimiento en plántulas de *E. smithii*.

#### 3.2.1. Material vegetal y diseño experimental

Se utilizaron plántulas de origen seminal de *E. smithii*, procedentes de Sudáfrica, de la compañía Sappi, sembrados el 08/03/2021, con aproximadamente 20 días desde la siembra hasta la emergencia de las plántulas. En cuanto a la instalación, los plántulas estaban colocados en bandejas de espuma plast de 96 celdas de 50 cm<sup>3</sup>, con sustrato compuesto en un 70 % corteza de pino y 30 % de turba con fertilización de liberación lenta.

El diseño experimental utilizado para la ejecución del ensayo fue el diseño factorial completamente al azar con cuatro niveles de ANA, tres niveles de AVG y tres repeticiones, resultando en 36 parcelas de 30 plantas cada una, con un total de 1080 plantas en el ensayo (cuadro 1). Los niveles de dosis fueron para ANA de 0 mg L<sup>-1</sup>, 200 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup>, 1000 mg L<sup>-1</sup>, mientras que para AVG fueron de 0 mg L<sup>-1</sup>, 125 mg L<sup>-1</sup>, 250 mg L<sup>-1</sup>. En la figura 6, se observa la

disposición final de las parcelas del ensayo, rodeadas del resto de plantas del vivero.

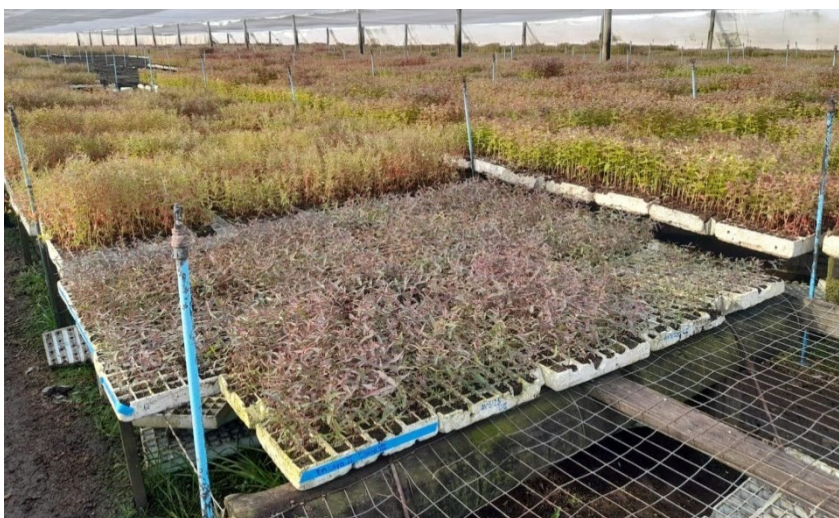
### **Cuadro 1**

*Diseño experimental.*

		Dosis AVG (ppm)		
		<b>0</b>	<b>125</b>	<b>250</b>
		<b>0</b>	0-125	0-250
Dosis ANA (ppm)	<b>200</b>	200-0	200-125	200-250
	<b>600</b>	600-0	600-125	600-250
	<b>1000</b>	1000-0	1000-125	1000-250

## Figura 7

*Plantas del ensayo en área de rustificación de vivero Saucedo.*



### 3.2.2. Evaluaciones

#### 3.2.2.1. Selección de plantines e instancias de evaluación

Los plantines fueron seleccionados el 19/05/2021 a los 70 días desde la siembra (figura 8). La selección se basó en una evaluación de caracterización de estado de desarrollo vegetativo en la que se evaluó la altura (cm), diámetro al cuello (mm), número de hojas y largo de pan radicular (cm).

## Figura 8

*Selección de plantas para el experimento.*



La aplicación de reguladores del crecimiento se realizó de forma foliar por única vez, el 28/05/2021, mediante pulverizador manual tomándose como referencia el punto de goteo para determinar el volumen requerido por parcela (480 ml) (figura 9). Al momento de la aplicación los plantines presentaban 4



pares de hojas en promedio. Posteriormente las mediciones se realizaron a los 0, 50, 70, y 90 días desde la aplicación de los tratamientos, utilizando en cada momento 10 plantas por repetición, las cuales fueron aleatoriamente seleccionadas, evaluando las siguientes variables: altura (cm), diámetro al cuello (mm), área foliar ( $\text{mg cm}^{-2}$ ), biomasa individual de hojas (mg), peso fresco de tallos (mg), peso fresco de raíces del estrato 1 y 2 (mg). Para la conformación de los estratos, se definió que el estrato 1 de raíces constaba desde el cuello de las plantas hasta los 2,5 cm de largo del sistema radicular, siendo el estrato 2 constituido desde dicho punto hasta el extremo inferior. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en una estufa de circulación de aire forzado a 60 °C durante 48 horas, y hasta peso constante, siendo posible determinar de esta forma el contenido de humedad de los materiales vegetales y su respectivo peso seco.

### Figura 9

*Plantas luego de la pulverización de reguladores de crecimiento.*



Se utilizaron los siguientes instrumentos para las correspondientes mediciones, balanza de precisión (Radwag WTC 2000, 0,01 de precisión), calibre, regla, scanner y estufa. A su vez para la obtención de las mediciones de raíces fue necesario el uso de tarrinas para realizar la limpieza de estas (figura 10).

**Figura 10**

*Lavado de raíces en Departamento Forestal.*



### 3.2.2.2. Indicadores de calidad de plantin

Los indicadores utilizados para evaluar la calidad de los plantines fueron los siguientes: relación altura - diámetro (H/D) (1), relación biomasa aérea - biomasa radicular (A/R) (2), el Índice de Calidad de Dickson (ICD) (3), relación área foliar - biomasa radicular (AF/PSR) (4), relación peso seco de hojas - biomasa radicular (PSH/PSR) (5), estos fueron calculados para las evaluaciones a los 50, 70 y 90 días desde la aplicación de los tratamientos.

$$HD = \frac{Altura(cm)}{Diámetro(mm)} \quad (1)$$

$$AR = \frac{Biomasa\ aérea(mg)}{Biomasa\ radicular(mg)} \quad (2)$$

$$ICD = \frac{Biomasa\ total(mg)}{\frac{Altura(cm)}{Diámetro(mm)} + \frac{Biomasa\ aérea(mg)}{Biomasa\ radicular(mg)}} \quad (3)$$

$$AF/PSR = \frac{Área\ foliar(mg\ cm^{-2})}{Biomasa\ radicular(mg)} \quad (4)$$

$$PSH/PSR = \frac{\text{Pesosecodehojas}(mg)}{\text{Biomasaradicular}(mg)} \quad (5)$$

### 3.2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico del experimento se realizó utilizando modelos lineales mixtos (MLM), conforme el que se presenta a continuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + Z_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde  $y_{ijk}$  es la variable dependiente,  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  es el efecto fijo de la aplicación de ácido naftalenacético,  $\beta_j$  es el efecto fijo de la aplicación de AVG,  $\alpha\beta_{ij}$  es el efecto fijo de la interacción entre los tratamientos mencionados,  $Z_k$ : es el efecto aleatorio de la parcela y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio. La parcela como efecto aleatorio forma parte debido a que estas medidas corresponden a observaciones repetidas en el tiempo sobre las mismas parcelas.

En todos los casos se verificaron los supuestos de normalidad, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de varianzas, con la prueba de Levene, realizando cuando fuese necesario la modelación de su estructura mediante la función varIdent (Zuur et al., 2009; Di Rienzo et al., 2011).

La comparación de media entre los tratamientos evaluados fue realizada para cada momento de evaluación, mediante una comparación múltiple de medias por el método de LSD Fisher, con correcciones de Bonferroni. Los análisis estadísticos descritos fueron realizados con R versión 4.2.1.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PLANTINES

Con base en la evaluación para caracterización morfológica de los plantines al momento de establecimiento del experimento a los 79 días desde la siembra, la primera característica medida fue la altura de las plantas. El promedio general fue de 12,97 cm, lo cual indica el momento del ciclo de las plantas donde se inició el experimento, en general plantas pequeñas y con un desvío bajo generado por la adecuada selección. En cuanto al diámetro al cuello, se verificó un promedio de 1,35 mm. Como resultado, la relación entre la altura y el diámetro al cuello promedio de los plantines fue de 9,6. El número total de hojas promedio fue de 23, de las cuales 9 se encontraban totalmente desplegadas y 14 semi desplegadas. Como última característica para la descripción morfológica de las plantas, se midió el peso seco de raíz, donde en esta etapa preliminar el registro promedio fue de 0,098 gramos (cuadro 2).

#### **Cuadro 2**

*Características morfológicas al momento del establecimiento del ensayo.*

Descriptor	H (cm)	D (mm)	Cepellón (cm)	Nº hojas desplegadas	Nº hojas semi desplegadas	Nº total de hojas	Peso seco de raíz (g)
Media	12.97	1.35	6.48	9	14	23	0.098
Desvío Estándar	0.72	0.15	0.46	2	10	10	0.22
Máximo	14.70	1.61	7.20	12	38	46	0.143
Mínimo	11.80	1.08	5.40	6	2	8	0.046

H = altura, D = diámetro al cuello.

### 4.2. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES

Se verificó la existencia de efectos significativos de la interacción entre los tratamientos de ANA, AVG y la fecha de evaluación para todas las variables analizadas en todas las fechas de evaluación (ANAVA, p-valor = < 0,0001) (anexo A). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza de los residuos fueron aprobados en todos los casos (anexo A). Considerando el efecto significativo de la fecha sobre las variables evaluadas, los resultados serán presentados de forma separada para cada momento de evaluación.

#### 4.2.1. Primera evaluación: 50 días

##### 4.2.1.1. Variables morfológicas

Para la variable altura, los tratamientos con menores dosis o sin aplicaciones de reguladores del crecimiento fueron los que obtuvieron mayores registros, logrando 5,33 cm más que aquellas plantas que pertenecían a tratamientos con dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA (cuadro 3). A su vez, los tratamientos con mayores dosis de ANA resultaron en plantines con menores



diámetros al cuello y área foliar. El uso de la mencionada dosis del regulador produjo una reducción del diámetro al cuello del 22,8 %, con respecto al control.

En consonancia con lo anterior, el peso seco de hojas y tallos posicionó a los tratamientos de concentraciones superiores de ANA en un conjunto de medias significativamente menores al resto de los tratamientos, debajo en la comparación de medias. Respecto al peso seco de raíces, si bien no fue posible establecer diferencias significativas en el peso total, si se verificó que al aplicar 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG indiferentemente de la dosis de ANA, se produjeron mayor cantidad de raíces en el estrato 2 que cuando no hubo aplicaciones. Para el caso del peso seco total los tratamientos que alcanzaron los mayores valores de media fueron las combinaciones de bajas o nulas concentraciones de auxinas con indistintas dosis del inhibidor del etileno. Los tres tratamientos superiores (0 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG, 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 de AVG y 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG) en promedio produjeron 26 % más de masa seca total que cuando se aplicó 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG, siendo este el tratamiento que resultó en las menores alturas de plantín.

## Cuadro 3

## Resultados de la primera evaluación.

Tratamiento (ANA / AVG)	H			D			HD			AF			PSH		
	Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.	
0 / 0	19.8	0.27	ab	1.72	0.05	abc	11.5	0.26	cd	13.1	1.40	abc	214	12.8	abc
0 / 125	21.4	0.49	a	1.68	0.04	bc	12.7	0.43	d	16.2	1.40	ab	209	12.8	abcd
0 / 250	17.9	0.41	c	1.93	0.04	a	9.27	0.25	a	16.5	1.40	ab	243	12.8	a
200 / 0	18.3	0.27	c	1.58	0.05	bc	11.6	0.56	bcd	14.1	0.90	abc	202	5.30	ab
200 / 125	18.2	0.49	bc	1.78	0.04	ab	10.2	0.38	abc	14.1	0.90	abc	210	5.30	ab
200 / 250	17.6	0.41	cd	1.71	0.04	bc	10.3	0.30	abc	17.5	0.90	a	210	5.30	ab
600 / 0	15.0	0.27	f	1.62	0.05	bc	9.25	0.38	ab	11.2	1.03	bc	163	6.93	cd
600 / 125	16.4	0.49	cdef	1.60	0.04	bc	10.3	0.32	abc	12.4	1.03	bc	187	6.93	bcd
600 / 250	16.8	0.41	cde	1.66	0.04	bc	10.0	0.29	ab	14.8	1.03	abc	198	6.93	abcd
1000 / 0	15.4	0.27	ef	1.51	0.05	c	10.2	0.31	abc	10.2	0.76	c	160	10.1	cd
1000 / 125	15.4	0.49	def	1.54	0.04	c	10.0	0.11	ab	10.2	0.76	c	153	10.1	d
1000 / 250	15.3	0.41	ef	1.58	0.04	bc	9.71	0.19	ab	11.2	0.76	bc	177	10.1	bcd

Tratamiento (ANA / AVG)	PSR-E1			PSR-E2			PSRT			PST			PSTT		
	Media	E.E.		Media	EE		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.	
0 / 0	102	6.53	abcd	36.7	2.85	b	139	8.13	ab	116	6.07	ab	470	21.6	abc
0 / 125	76.3	3.58	d	36.7	3.77	b	113	6.53	b	116	6.07	ab	439	21.6	abc
0 / 250	95.4	7.70	abcd	48.0	4.09	ab	143	10.2	ab	113.	6.07	abc	500	21.6	a
200 / 0	110	6.53	abc	45.7	2.85	ab	156	8.13	a	105	3.86	abc	464	16.4	ab
200 / 125	115	3.58	a	48.7	3.77	ab	164	6.53	a	112	3.86	a	487	16.4	a
200 / 250	109	7.70	abc	58.3	4.09	a	168	10.2	a	108	3.86	ab	486	16.4	a
600 / 0	105	6.53	abc	44.7	2.85	ab	150	8.13	ab	92.3	3.28	bcde	405	13.9	bc
600 / 125	88.7	3.58	bcd	44.7	3.77	ab	133	6.53	ab	94.7	3.28	abcd	415	13.9	abc
600 / 250	112	7.70	abc	52.7	4.09	ab	165	10.2	a	95.0	3.28	abcd	457	13.9	ab
1000 / 0	114	6.53	ab	49.7	2.85	ab	164	8.13	a	86.7	3.25	de	411	21.6	abc
1000 / 125	83.9	3.58	cd	49.2	3.77	ab	133	6.53	ab	76.3	3.25	e	363	21.6	c
1000 / 250	102	7.70	abcd	54.7	4.09	ab	157	10.2	ab	88.7	3.25	cde	423	21.6	abc

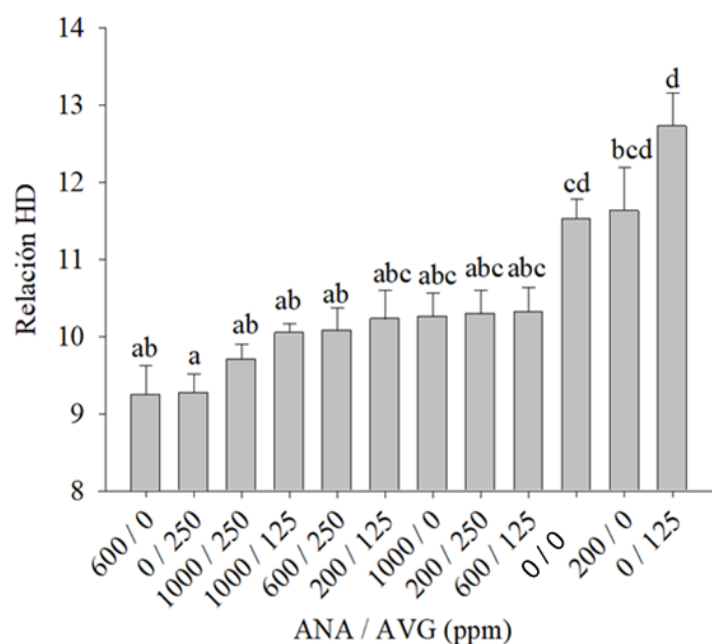
*Nota.* H = altura (cm), D = diámetro al cuello (mm), HD = relación altura/diámetro, AF = área foliar (mg cm<sup>-2</sup>), PSH = peso seco de hojas (mg), PSR-E1 = peso seco de raíces del estrato 1 (mg), PSR-E2 = peso seco de raíces del estrato 2 (mg), PSRT = peso seco de raíces total (mg), PST = peso seco de tallos (mg), PSTT = peso seco total (mg). E. E. = error estándar (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

## 4.2.1.2. Indicadores de calidad

Considerando la relación HD, su rango óptimo para plantines de *Eucalyptus spp.* se encuentra entre 5 y 10 (Quiroz Marchant et al., 2009). En este sentido, se pudo constatar que el tratamiento testigo y aquellos tratamientos sin la aplicación de los reguladores de crecimiento, o con las menores dosis, fueron los que más se alejaron del rango adecuado para el indicador como indica la figura 11.

**Figura 11**

*Relación HD (altura/diámetro) en la primera evaluación.*



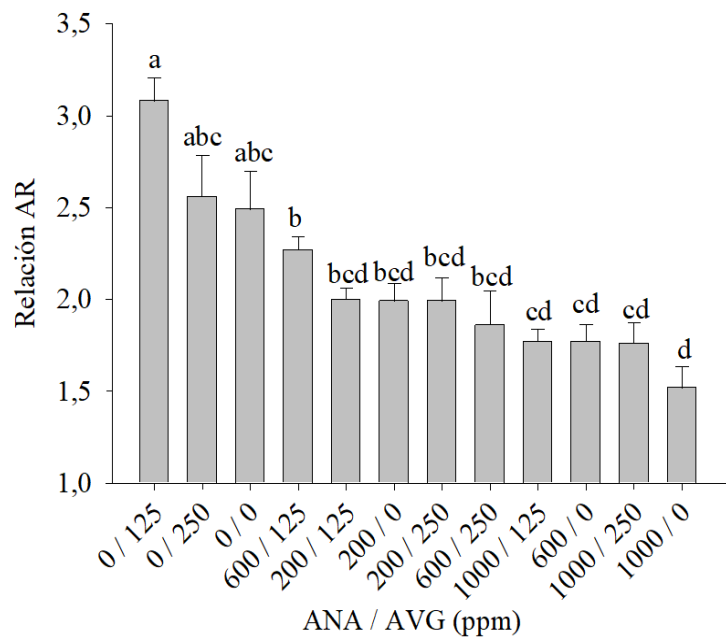
*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

Al considerar la relación entre la materia seca de la parte aérea y del sistema radicular, se constataron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (figura 12). Particularmente, para la combinación ANA 0, 125 AVG, se obtuvieron relaciones más elevadas para el indicador, indicando la ocurrencia de plantas con menor masa radicular para la masa de hojas. Por otra parte, se evidenció que este indicador fue reducido a partir del aumento de las dosis de ANA.

**Figura 12**

*Relación parte aérea/radicular (A/R) en la primera evaluación.*

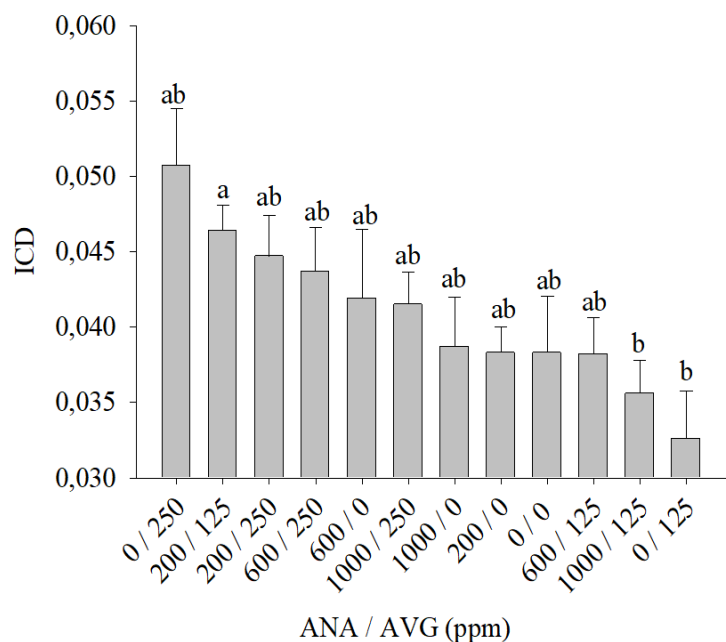


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).  
E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

En referencia al Índice de Calidad de Dickson los resultados indican que el tratamiento  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA,  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG alcanzó la mayor media. Lo siguiente que se visualiza es que la mayoría de los tratamientos no se diferencian significativamente entre sí, probablemente debido a que la evaluación se realizó en fechas tempranas del desarrollo de los plantines (figura 13).

**Figura 13**

*Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la primera evaluación.*

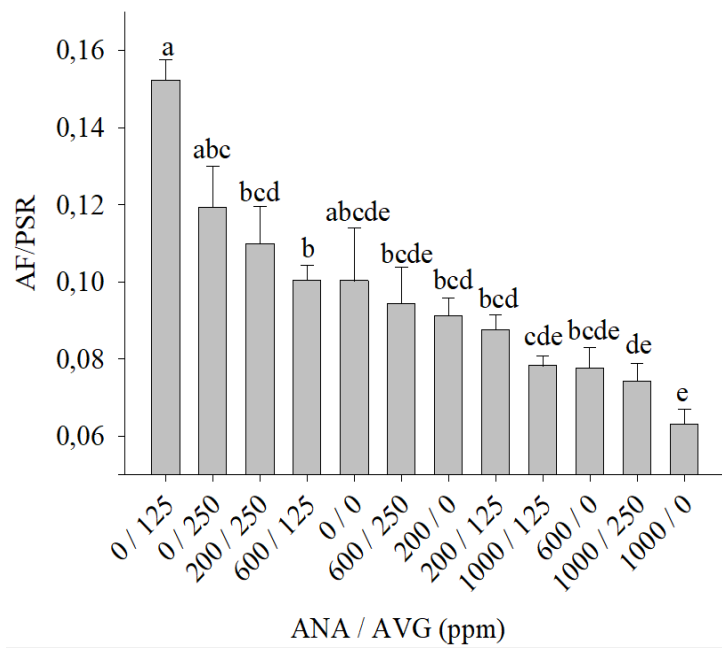


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05). E. E. = error estándar (n = 3).

En tanto para los indicadores AF/PSR y PSH/PSR se constataron resultados similares entre sí, obteniéndose mayor área foliar y peso seco de hojas en relación con la parte seca radicular para los tratamientos en los cuales no hubo aplicaciones de ANA (figuras 14 y 15). En ambas situaciones, la utilización de una dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA promovió el desarrollo radicular por sobre la parte aérea, reduciendo el valor de los índices en un 50 %.

**Figura 14**

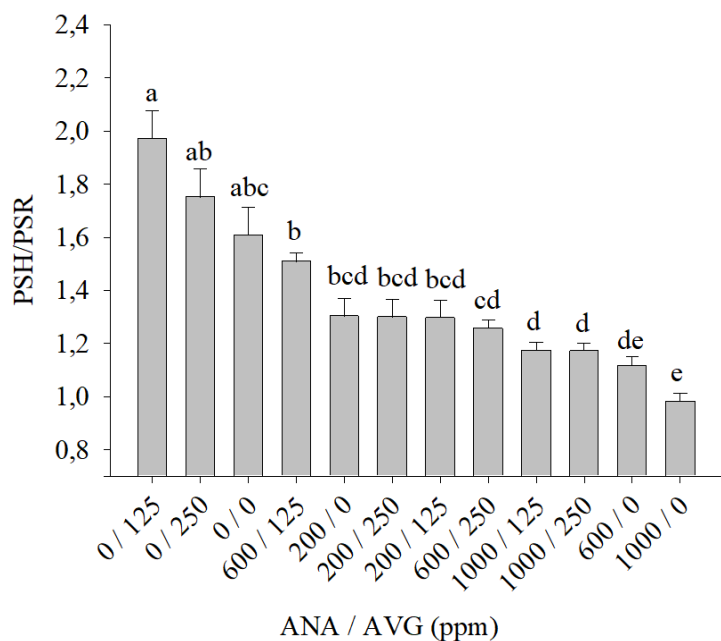
*Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en la primera evaluación.*



*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).  
E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

**Figura 15**

*Relación peso seco de hojas / peso seco de raíces (PSH/PSR) en la primera evaluación.*



*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

#### 4.2.2. Segunda evaluación: 70 días

##### 4.2.2.1. Variables morfológicas

La respuesta de la variable altura a los tratamientos fue semejante a la primera evaluación. Los mayores valores se adjudican al testigo y al tratamiento  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA,  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG. En promedio las plantas que no fueron tratadas con ANA alcanzaron 5,36 cm más de altura que aquellas que sí recibieron la mayor dosis del regulador. Para el diámetro a la altura del cuello, el tratamiento de  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA y  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG obtuvo 0,26 mm más que las que recibieron una dosis de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA y  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG. En concordancia con los resultados anteriores, el área foliar fue mayor cuando las dosis de ANA fueron bajas o nulas, logrando una superficie foliar 50 % superior en el tratamiento control respecto a las plantas con dosis altas del estimulante. Resultados similares fueron obtenidos para las variables peso seco de hojas y tallos, manteniéndose así la tendencia de disminución de las variables a medida que se aumentan las dosis de ANA.

Para la variable peso seco de raíces la interacción de mayor dosis de ANA en conjunto a  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG fue el tratamiento de mayor peso seco, alcanzando una media de 219 mg. De acuerdo con lo verificado para la primera fecha de evaluación, todos los tratamientos de mayores dosis de ANA fueron superiores. Otro de los tratamientos que tuvo un desempeño destacado fue cuando se aplicó  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA y 0 de AVG. La media de los tres tratamientos con una aplicación de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA fue de 192 mg, mientras

que sin la aplicación del regulador de crecimiento se redujo en un 26 %. Al diferenciarlo por estratos, prevalece el comportamiento anteriormente mencionado, siendo el tratamiento de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG aquél que más promovió la formación de masa radicular tanto en el estrato 1 como en el estrato 2 (cuadro 4).

#### Cuadro 4

##### Resultados de la segunda evaluación.

Tratamiento (ANA / AVG)	H		D		HD		AF		PSH						
	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.					
0 / 0	21.1	0.27	ab	1.64	0.05	abc	12.8	0.26	d	18.8	1.40	ab	321	17.3	a
0 / 125	22.1	0.49	a	1.77	0.04	ab	12.4	0.43	cd	21.4	1.40	a	297	17.3	ab
0 / 250	18.5	0.41	cd	1.82	0.04	a	10.2	0.25	ab	19.3	1.40	ab	280	17.3	abc
200 / 0	18.7	0.27	c	1.65	0.05	abc	11.3	0.56	abcd	16.2	0.90	ab	229	9.5	bc
200 / 125	19	0.49	bcd	1.79	0.04	ab	10.7	0.38	abc	14.0	0.90	bcd	226	9.5	bc
200 / 250	17.9	0.41	cd	1.77	0.04	ab	10.0	0.30	ab	16.5	0.90	ab	241	9.5	bc
600 / 0	15.6	0.27	efg	1.57	0.05	bc	10.0	0.38	ab	9.16	1.03	de	139	21.5	de
600 / 125	16.9	0.49	cdef	1.64	0.04	abc	10.3	0.32	Ab	17.6	1.03	ab	279	21.5	abc
600 / 250	17.4	0.41	cde	1.63	0.04	abc	10.6	0.29	bc	15.0	1.03	bc	208	21.5	bcde
1000 / 0	14.6	0.27	g	1.61	0.05	abc	9.04	0.31	a	8.8	0.76	e	138	12.0	e
1000 / 125	16.5	0.49	defg	1.66	0.04	abc	9.96	0.11	ab	15.4	0.76	bc	217	12.0	cd
1000 / 250	14.6	0.41	fg	1.56	0.04	c	9.37	0.19	a	11.8	0.76	cde	148	12.0	e

Tratamiento (ANA / AVG)	PSR-E1		PSR-E2		PSRT		PST		PSTT						
	Media	E.E.	Media	EE	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.					
0 / 0	93.0	7.19	c	48.9	4.24	bcde	142	8.94	cde	143	7.90	ab	607	27.7	a
0 / 125	98.3	5.35	c	39.3	2.65	de	138	5.71	e	156	7.90	a	591	27.7	ab
0 / 250	101	7.71	bc	44.3	2.63	cde	145	8.83	cde	129	7.90	abc	555	27.7	ab
200 / 0	145	7.19	a	59.3	4.24	abc	204	8.94	ab	126	3.99	abc	559	13.9	ab
200 / 125	107	5.35	bc	33.9	2.65	e	142	5.71	de	121	3.99	bc	489	13.9	b
200 / 250	103	7.71	bc	51.7	2.63	bcd	155	8.83	dde	120	3.99	bc	517	13.9	ab
600 / 0	95.4	7.19	c	33.5	4.24	de	129	8.94	e	72.4	5.40	e	341	30.6	d
600 / 125	62.0	2.65	ab	62.0	2.65	ab	177	5.71	bc	132	5.40	abc	588	30.6	ab
600 / 250	104	7.71	bc	44.3	2.63	cde	149	8.83	cde	107	5.40	cd	464	30.6	abcd
1000 / 0	118	7.19	abc	58.7	4.24	abc	177	8.94	abcd	82	8.64	de	397	19.6	cd
1000 / 125	129	5.35	ab	50.2	2.65	bcd	180	5.71	bc	95.3	8.64	cde	492	19.6	abc
1000 / 250	148	7.71	a	70.3	2.63	a	219	8.83	a	128	8.64	abc	496	19.6	abc

*Nota.* H = altura (cm), D = diámetro al cuello (mm), HD = relación altura/diámetro, AF = área foliar (mg cm<sup>-2</sup>), PSH = peso seco de hojas (mg), PSR-E1 = peso seco de raíces del estrato 1 (mg), PSR-E2 = peso seco de raíces del estrato 2 (mg), PSRT = peso seco de raíces total (mg), PST = peso seco de tallos (mg), PSTT = peso seco total (mg). E. E. = error estándar (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

En cuanto a la variable peso seco total, se obtuvo que el tratamiento testigo fue el que se diferenció significativamente del resto, con una media de 607 mg, lo que está altamente influenciado por la mayor altura de los plantines y consecuentemente mayor peso seco de tallos. Tratamientos con medias cercanas a las de la primera evaluación, fueron también los que tuvieron bajas o



nulas aplicaciones de ANA. Al contrastar las medias, los menores valores los obtuvieron los tratamientos de mayores concentraciones del regulador.

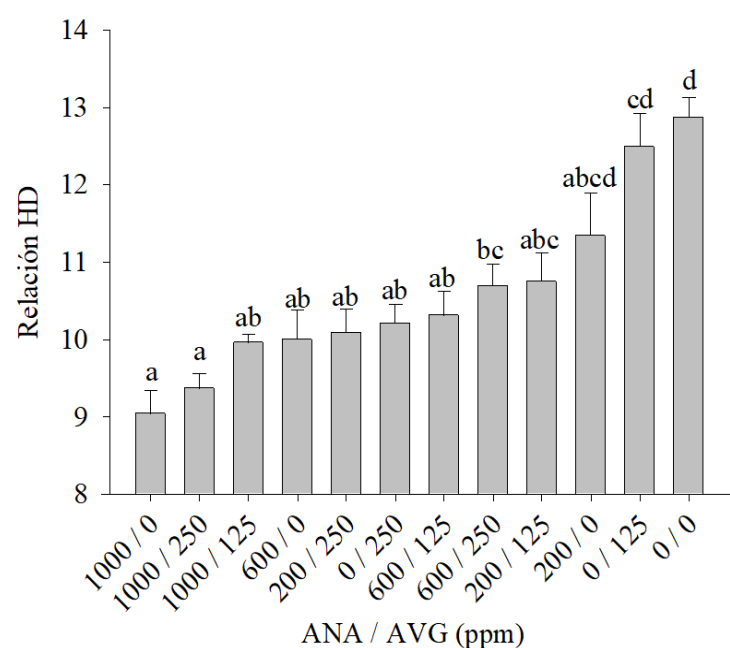
#### 4.2.2.2. Indicadores de calidad

A continuación, se brindan cinco gráficos explicativos para los resultados de los índices de calidad para la segunda fecha de muestreo (figuras 16 al 20).

El tratamiento testigo fue el que más se distanció del rango óptimo (entre 5 y 10 (Quiroz Marchant et al., 2009)) para el índice HD (figura 16). Por su parte cada vez que se dosificaron 1000 mg L-1 de ANA en conjunto a cualquiera de las tres concentraciones de AVG se generaron los valores dentro del rango óptimo para este índice, entre ellos obtuvieron un promedio de 9,44. Contrastando este dato, cuando no se aplicó ANA se obtuvo una media de 11,34.

**Figura 16**

*Relación altura / diámetro (H/D) en la segunda evaluación.*



*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

E. E. = error estándar (n = 3).

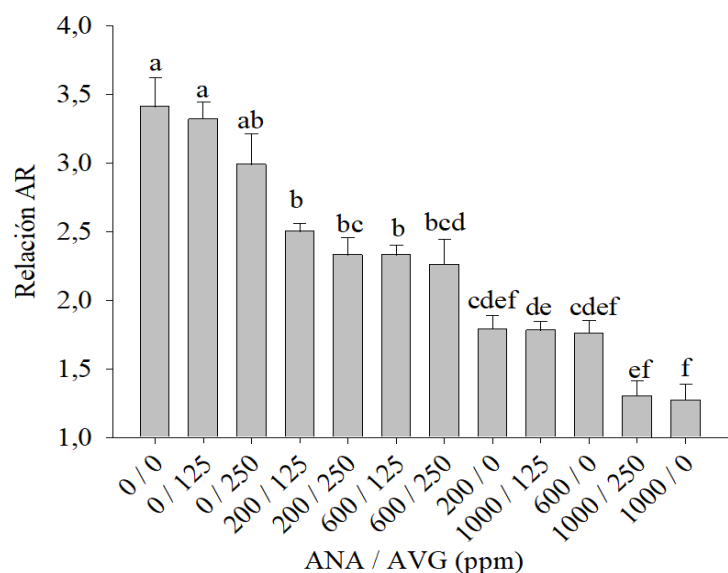
En consonancia con lo anterior, el peso seco de hojas y tallos posicionó a los tratamientos de concentraciones superiores de ANA en un conjunto de medias significativamente menores al resto de los tratamientos.

Cuando se evaluó la relación entre la masa de la parte aérea y del sistema radicular el testigo obtuvo el mayor valor del indicador, en este caso como el tratamiento que desarrolló menor proporción de raíces en relación con su parte aérea (figura 17). Siguiendo la línea anterior, mayores dosis de ANA resultan en tratamientos que se agrupan en valores del índice inferiores, en un rango de 1,27 a 1,78, obteniendo las menores relaciones AR. Con altas dosis de

ANA se obtuvo un promedio de 1,45 evidenciando un cercano equilibrio entre las partes, en cambio, cuando las dosis de ANA fue cero (indistintamente de la concentración de AVG), se obtuvo tres veces más parte área distando de la relación anteriormente mencionada.

**Figura 17**

*Relación parte aérea / radicular (A/R) en la segunda evaluación.*

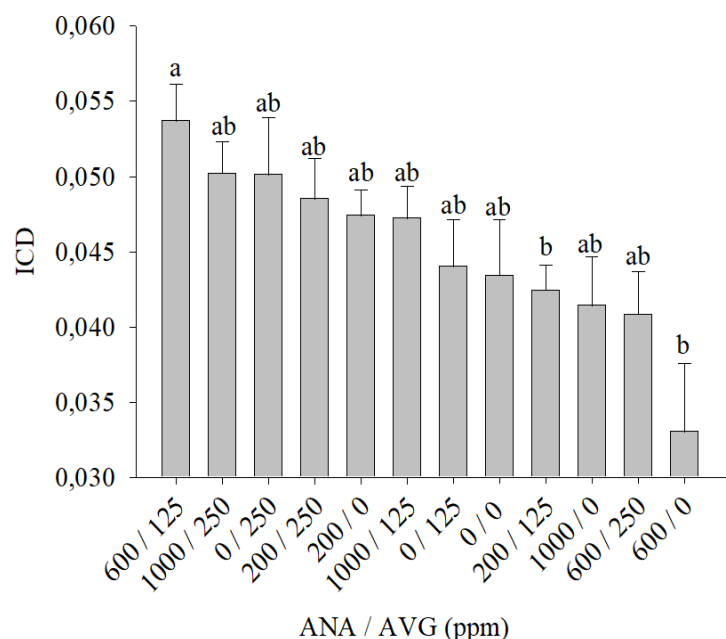


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

Por su parte, el ICD a los 70 días desde la aplicación de los reguladores de crecimiento indica que la interacción óptima ocurrió con las dosis de 600 mg L<sup>-1</sup> de ANA en conjunto de 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG (figura 18). Aunque dicho tratamiento no presentó diferencias significativas en comparación al testigo, este tratamiento generó un incremento de 19,2 % en el valor absoluto del ICD.

**Figura 18**

*Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la segunda evaluación.*



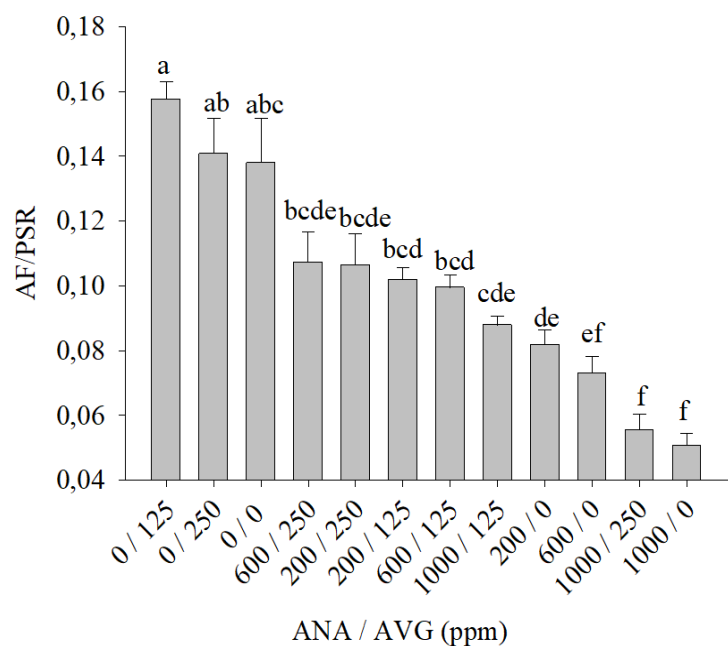
*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

Finalmente, las figuras 19 y 20 presentan los resultados obtenidos para los indicadores AF/PSR y PSH/PSR, los cuales presentaron resultados similares entre sí. En ambos indicadores los tratamientos sin la aplicación de ANA, en conjunto a cualquiera de las concentraciones de AVG, obtuvieron los mayores valores del índice.

Al evaluar el indicador se evidencia que cuando no se aplicó ANA, la parte aérea de las plantas fue sensiblemente superior a la parte radicular, en comparación a los tratamientos con la aplicación de dicho regulador de crecimiento. Otro dato de valor que se puede observar es que los tratamientos de dosis intermedias obtuvieron valores intermedios del índice, lo cual puede ser útil ya que se trata de un equilibrio entre la parte aérea y radicular de las plantas.

**Figura 19**

*Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en la segunda evaluación.*

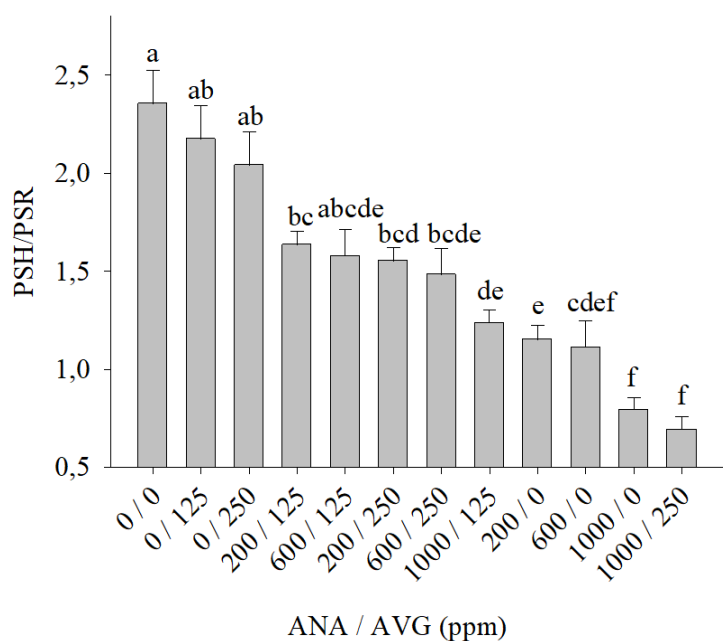


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).  
E. E. = error estándar ( $n = 3$ )

La utilización de una dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA promovió el desarrollo radicular por sobre la producción foliar dando como resultado valores del índice PSH/PSR bajos. En contraste, la ausencia de la aplicación de auxina obtuvo los plantines con el mayor valor del indicador, los cuales lograron el doble de peso seco de hojas que de peso seco radicular (figura 20).

**Figura 20**

*Relación peso seco de hojas / peso seco radicular (PSH/PSR) en la segunda evaluación.*



*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

#### 4.2.3. Tercera evaluación: 90 días

##### 4.2.3.1. Variables morfológicas

Así como en las evaluaciones previas, la altura de los plantines fue superior cuando las dosis de los reguladores de crecimiento fueron bajas o inexistentes. En este sentido, para la dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA se verificó un promedio de 16,9 cm de altura, evidenciando así un crecimiento de 1,5 cm, un registro muy bajo en comparación a otros tratamientos, como por ejemplo 600 de ANA y 125 de AVG que logró aumentar 3,4 cm desde la primera medición. En cuanto a dosis intermedias (600 mg L<sup>-1</sup>) el promedio obtenido fue de 18,3 cm y 22,6 cm para plantines sin la aplicación de ANA. Estos resultados, en conjunto a los obtenidos para las evaluaciones previas, evidencian un gradiente de reducción en la altura a partir del aumento de las dosis de ANA. En referencia al diámetro al cuello, hubo un cambio en cuanto al tratamiento superior, ANA 200 mg L<sup>-1</sup> / AVG 0, resultó en una media de 2,18 cm. Con respecto a esta variable los tratamientos con mayores concentraciones de AVG generaron medias 22 % más bajas que el tratamiento ANA 200 y 0 de AVG, el que obtuvo la media superior (cuadro 5).

## Cuadro 5

## Resultados de la tercera evaluación.

Tratamiento (ANA / AVG)	H			D			HD			AF			PSH		
	Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.	
0 / 0	23.7	0.3	a	1.90	0.05	bc	12.5	0.26	e	21.5	1.4	ab	358	29.7	ab
0 / 125	23.8	0.5	ab	1.90	0.04	bc	12.7	0.43	de	19.9	1.4	abc	338	29.7	abc
0 / 250	20.5	0.4	cde	1.82	0.04	c	11.3	0.25	cde	16.7	1.4	bcd	298	29.7	abcde
200 / 0	22.1	0.3	bc	2.18	0.05	a	10.2	0.56	abcd	19.2	0.9	abc	374	21.8	a
200 / 125	21.2	0.5	cd	2.07	0.04	ab	10.3	0.38	abc	18.0	0.9	bc	276	21.8	abcd
200 / 250	19.2	0.4	de	1.69	0.04	c	11.3	0.30	cde	18.0	0.9	bc	275	21.8	abcde
600 / 0	16.2	0.3	g	1.76	0.05	c	9.1	0.38	ab	15.4	1.0	bcd	225	14.5	cde
600 / 125	19.8	0.5	de	1.82	0.04	c	10.9	0.32	bcd	23.4	1.0	a	354	14.5	a
600 / 250	18.8	0.4	e	1.69	0.04	c	11.1	0.29	cde	17.3	1.0	bcd	276	14.5	bcd
1000 / 0	16.6	0.3	fg	1.81	0.05	c	9.2	0.31	a	13.1	0.8	d	188	9.9	e
1000 / 125	18.5	0.5	ef	1.71	0.04	c	10.8	0.11	c	18.2	0.8	bc	248	9.9	bcd
1000 / 250	15.8	0.4	g	1.73	0.04	c	9.2	0.19	a	15.0	0.8	cd	218	9.9	de

Tratamiento (ANA / AVG)	PSR-E1			PSR-E2			PSRT			PST			PSTT		
	Media	E.E.		E.E.	EE		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.	
0 / 0	138	8.5	ab	56.1	4.4	bc	194	12.1	bc	215	13.6	a	767	52.8	abc
0 / 125	134	5.2	b	44.3	2.9	c	179	5.8	c	213	13.6	a	729	52.8	abc
0 / 250	134	10.7	ab	64.0	7.8	abc	198	16.6	abc	174	13.6	abc	670	52.8	abcd
200 / 0	136	8.5	ab	49.0	4.4	bc	185	12.1	bc	199	6.9	a	758	33.8	ab
200 / 125	128	5.2	b	58.7	2.9	bc	187	5.8	bc	157	6.9	b	620	33.8	abcd
200 / 250	130	10.7	ab	51.0	7.8	abc	181	16.6	bc	143	6.9	bcd	599	33.8	bcd
600 / 0	114	8.5	b	43.0	4.4	c	157	12.1	c	118	7.4	cde	500	30.9	d
600 / 125	171	5.2	a	79.7	2.9	a	251	5.8	a	170	7.4	ab	775	30.9	a
600 / 250	131	10.7	ab	49.3	7.8	bc	180	16.6	bc	150	7.4	bc	606	30.9	bcd
1000 / 0	140	8.5	ab	56.7	4.4	bc	197	12.1	bc	113	4.7	d	498	22.2	d
1000 / 125	146	5.2	ab	64.3	2.9	b	211	5.8	b	141	4.7	bc	600	22.2	cd
1000 / 250	135	10.7	ab	60.3	7.8	abc	195	16.6	abc	88	4.7	e	501	22.2	d

*Nota.* H = altura (cm), D = diámetro al cuello (mm), HD = relación altura/diámetro, AF = área foliar ( $\text{mg cm}^{-2}$ ), PSH = peso seco de hojas (mg), PSR-E1 = peso seco de raíces del estrato 1 (mg), PSR-E2 = peso seco de raíces del estrato 2 (mg), PSRT = peso seco de raíces total (mg), PST = peso seco de tallos (mg), PSTT = peso seco total (mg). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor  $< 0,05$ ).

Para el área foliar en esta instancia el tratamiento superior fue en la interacción de AVG  $600 \text{ mg L}^{-1}$  con  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG obteniendo una media de  $230 \text{ mg cm}^{-2}$ . En general los valores más altos de ANA implican una menor área foliar. En referencia al peso seco de hoja el tratamiento superior fue cuando se aplicó  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA sin AVG, logrando este una media de  $374 \text{ mg}$ . Esto significó un 54 % por encima del promedio del conjunto de tratamientos donde se aplicaron  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA y un 4,3 % por encima del testigo. En cuanto a los tallos se dio que la media obtenida para la combinación de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA con  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de AVG fue la más baja de todas, alrededor de un 60 % inferior con respecto al tratamiento testigo, el cual fue el de mayor media.

Para la variable peso seco de raíz se vio un cambio en el tratamiento superior en referencia a la fecha anterior, en esta se dio que cuando se aplicaron dosis intermedias de ambos reguladores se logró el mejor rendimiento para la variable, con una media de 251 mg, en comparación al tratamiento testigo que obtuvo una media de 194 mg, implicando un 22 % más de peso de raíces.

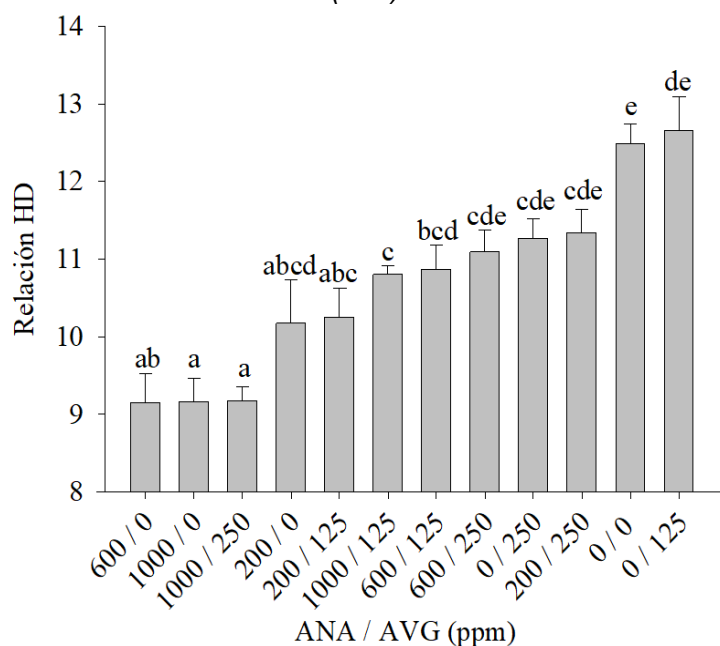
Finalmente, para la variable peso seco total se vio que las dosis intermedias de ambos reguladores lograron una media de 775 mg, manteniendo una superioridad en las medias con respecto al resto, y en este caso más cercano al testigo (con un promedio de 767 mg), que para la variable de raíces.

#### 4.2.3.2. Indicadores de calidad

Considerando la relación entre altura y diámetro al cuello, las mayores concentraciones de auxinas generaron plantas con una relación más adecuada en comparación al tratamiento control. Los resultados obtenidos indican que los plantines a los que no se les proporcionó reguladores de crecimiento o que recibieron dosis bajas de los mismos obtuvieron valores superiores a 10 (figura 21), resultando fuera del rango indicado como óptimo (Quiroz Marchant et al., 2009).

**Figura 21**

*Relación altura/diámetro (H/D) en la tercera evaluación.*

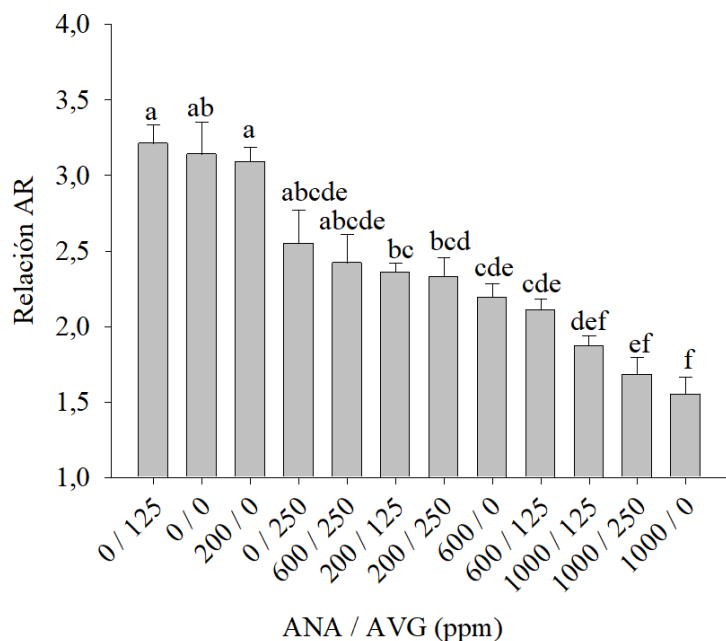


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

Para la relación masa seca de la parte aérea y del sistema radicular, se denotó una vez más el efecto del uso de ANA en un claro gradiente decreciente a medida que aumenta la dosis, equilibrando así esta relación (figura 22). Al contrastar las medias del testigo con el promedio de las dosis mayores de ANA se constata que la aplicación de reguladores de crecimiento redujo en un 46 % la relación.

**Figura 22**

*Relación parte aérea / radicular (A/R) en la tercera evaluación.*



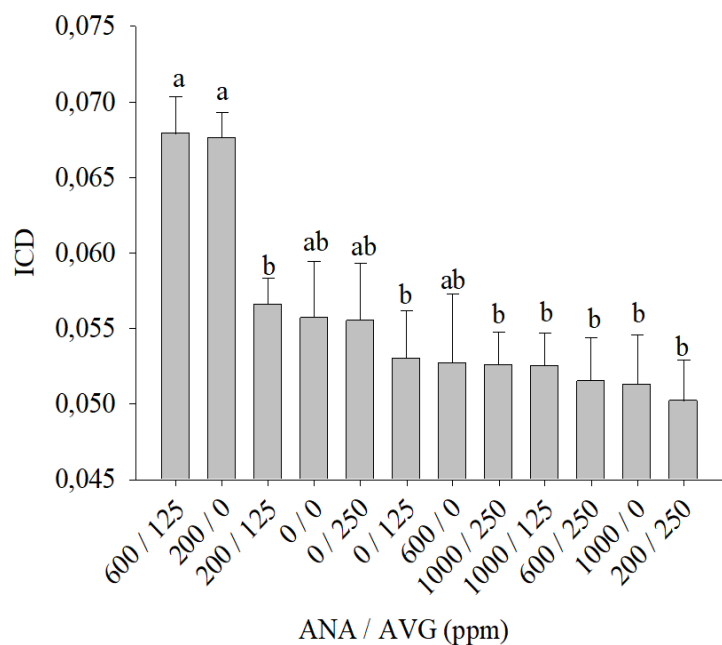
*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

En referencia al ICD los tratamientos superiores fueron dos, uno de ellos fue el de dosis intermedias de los reguladores (ANA 600 mg L<sup>-1</sup> y AVG 125 mg L<sup>-1</sup>) y el tratamiento con 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y sin aplicación de AVG. Para este indicador además se observa que los tratamientos en los cuales se dosifica la cantidad más alta de ANA, no se lograron medias altas, incluso por debajo del testigo, esta situación podría estar relacionada directamente con la disminución en altura (figura 23).



**Figura 23**

*Índice de Calidad de Dickson (ICD) en la tercera evaluación.*

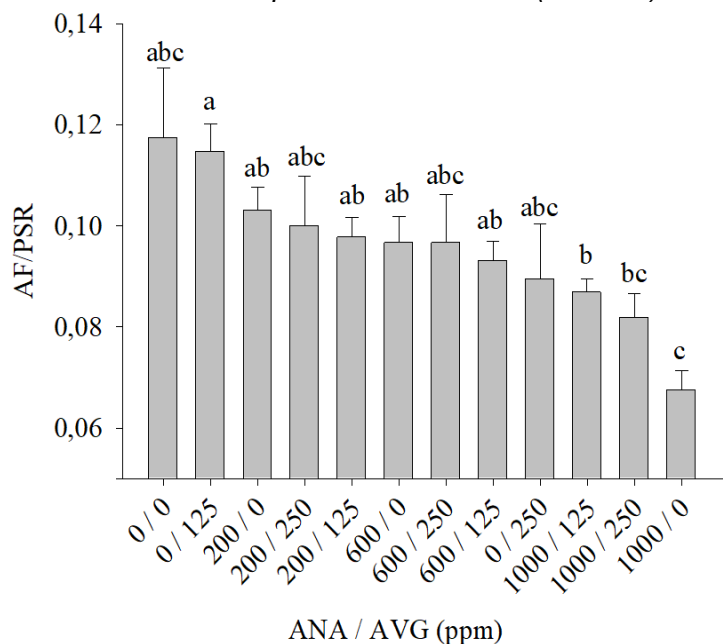


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).  
E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

En el caso de los dos últimos indicadores que vinculan el área foliar y su respectivo peso seco con la proporción radicular, se continúa visualizando el efecto de la dosis 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA en promover el mayor crecimiento de raíces, dando como resultado un valor de relación menor (en conjunto a una reducción de biomasa foliar). Dosis intermedias de los reguladores del crecimiento también obtuvieron dicho resultado, siendo la dosis de 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG la que derivó en la menor relación.

**Figura 24**

*Relación área foliar / peso seco radicular (AF/PSR) en tercera evaluación.*

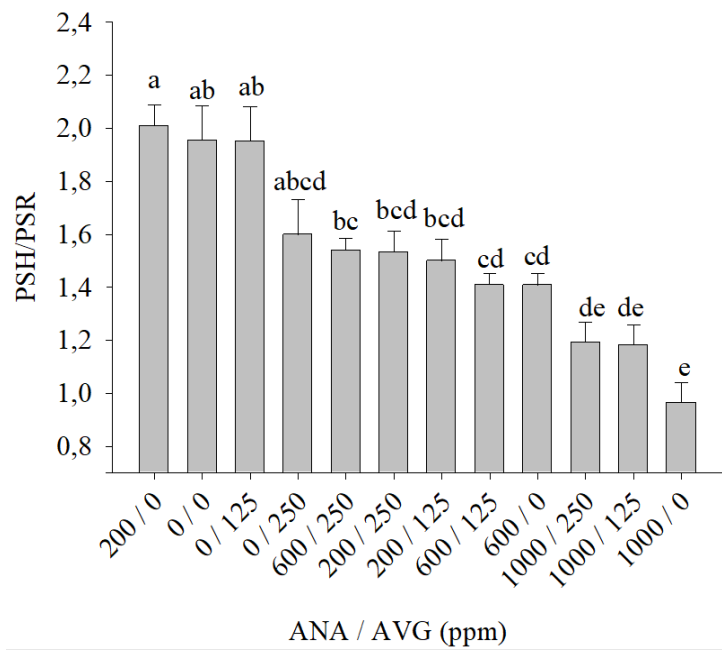


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05). E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

Otra puntualización relevante que se puede apreciar es que para el caso del tratamiento testigo en la relación AF/PSR se mostró el mayor registro (situación indeseable), pero a su vez una gran variación en las repeticiones generando un desvío alto, lo que hace no diferenciarse significativamente con el resto de los tratamientos (figura 24). Esta situación no se observa tanto en el gráfico 16, donde el testigo también está entre los tratamientos de más alta relación, o sea que tienen una proporción menor de raíces, pero en este caso con una menor variación. Nuevamente se visualiza en la figura 25 que los tratamientos con dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA son los que promueven el mayor crecimiento radicular.

**Figura 25**

*Relación peso seco de hojas / peso seco radicular (PSH/PSR) en la tercera evaluación.*



*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).  
E. E. = error estándar ( $n = 3$ ).

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados de las características morfológicas obtenidos no se deberían analizar por separado, ya que muchas veces un determinado tratamiento mejoró a alguna de ellas, pero en el resultado global de la calidad de la planta obtenida puede que no sea la más indicada para una expedición a campo (Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea, 2020). Así es el caso de los tratamientos sin aplicación exógena de auxinas, las plantas producidas lograron mayor altura acompañadas de un aumento del peso seco de hojas y tallos, que aquellas tratadas con una dosis de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA, sin embargo, el incremento de la variable no repercutió de manera positiva en los indicadores de calidad. Si se vuelve a partir del problema inicial, motivador de este estudio, sería ideal que la planta producida tenga las cualidades idóneas para que sufra el menor estrés inicial luego de introducida a campo. Se considera que la calidad de planta es uno de los factores que condicionan el éxito de la plantación, y se deben cumplir con una serie de características específicas para la especie (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2009).

De los resultados obtenidos para la variable altura se mantiene la tendencia a través de las tres evaluaciones de producir plantines con un mayor valor de la variable cuando no hubo aplicación de ANA, en este caso (sin aplicación de ANA) la media obtenida para la última instancia de evaluación fue de 22,6 cm, equivaliendo a un incremento del 25 % del crecimiento en altura comparado al tratamiento de dosis máximas de ANA, posiblemente asociado a un efecto fitotóxico. Los resultados coinciden con lo reportado por Alam et al. (2002) en ensayos realizados en trigo que ante el aumento de la dosis de ANA obtuvieron menores valores de altura. Esto refleja el efecto causado por el regulador de crecimiento cuando se dosifican cantidades excesivas. Se evidencia que las aplicaciones de auxinas no tienen un efecto promotor del crecimiento en altura, por el contrario, su efecto es fundamentalmente limitador de la variable (Arguelles y Andres & Panchuk, 1994). Gomes et al. (2002), al estudiar caracteres morfológicos en plantines de *Eucalyptus grandis*, establecieron que un valor aceptable de altura se encuentra en torno a los 30 cm para ser destinado a plantación, en tanto Wendling y Dutra (2010) definieron que el mínimo admisible era de 15 cm. En base a lo anterior, para el momento final de evaluación, todos los tratamientos presentaron resultados dentro del rango definido en la bibliografía. Si bien la altura es un buen indicador del comportamiento futuro de la plantación, no es un buen predictor de la sobrevivencia, por lo que no puede ser interpretado como un indicador de la calidad por sí sólo, siendo necesario relacionarlo con otras variables (Sáenz Reyes et al., 2010).

En el caso de la variable diámetro al cuello, los mayores valores obtenidos para las dos primeras fechas de evaluación fueron cuando no hubo aplicación de ANA, produciendo un cambio en dicho comportamiento para la última fecha, en la cual una dosis  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA promovió más el crecimiento en diámetro que cuando no se proporcionó el regulador del crecimiento. Resultados similares a los obtenidos en el ensayo obtuvieron Navroski et al. (2014) al utilizar una dosis de  $4,5 \text{ g L}^{-1}$  de hidrogel en plantines de *Eucalyptus dunnii* con valores de diámetro al cuello cercanos a los 2 mm. El

diámetro al cuello es una característica de alta importancia para determinar la calidad de plantines forestales debido a que posee una alta correlación con la supervivencia de la planta en campo y el éxito de la plantación (Prieto Ruíz et al., 2009). Según Wendling y Dutra (2010), un valor óptimo de diámetro al cuello es de 2 mm o más, en cuanto Lopes (2004) plantea que plantines de *E. grandis* con un diámetro mayor a 2,5 mm son más aptos para ser establecidos en plantación. Los tratamientos de 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 0 mg L<sup>-1</sup> de AVG, y 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG fueron los únicos que lograron obtener los valores mínimos recomendados por los autores. Dirigiéndose más hacia los efectos de los tratamientos en esta variable, es distinguible el hecho de que para la última instancia no hubo un gran desempeño del tratamiento ANA 600 / 125 AVG el cual sí se destacó en varios indicadores. Esta situación es acompañada por el resto de los tratamientos que tuvieron 600 o 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA, posiblemente asociado a la producción de plantas más finas y tiernas. Esta circunstancia difiere con lo establecido por Binotto et al. (2010) quienes concluyen que el volumen radicular está directamente relacionado con el diámetro al cuello, puesto que los tratamientos que produjeron una mayor masa de raíces no se corresponden con los que lograron el mayor diámetro al momento final.

Al evaluar la respuesta del área foliar en las diferentes instancias se verifica que, para las dos primeras fechas, los tratamientos que no fueron tratados con ANA obtuvieron un notorio incremento en el área foliar. En cambio, para la última fecha de evaluación el tratamiento con dosis intermedias de ambos reguladores del crecimiento (600 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG) produjo los plantines con el mayor valor (23 mg cm<sup>-2</sup>). Para el peso seco de hojas y peso seco de tallos se mantuvo el comportamiento anteriormente mencionado para las dos primeras fechas, en las cuales la ausencia de ANA obtuvo las mayores medias para las variables, indistintamente de la dosis de AVG. Sin embargo, para la última evaluación una aplicación de 200 mg L<sup>-1</sup> de ANA sin AVG produjo los plantines con el mayor peso de hojas. Al aplicar 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA ambas variables se vieron deprimidas en todas las instancias de evaluación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Li y Liu (2003), quienes obtuvieron plantas con menor peso seco de hojas, tallos y total al incrementar la dosis de ANA. Cato et al. (2013) establecieron que ante la aplicación exógena de auxina sintética el desarrollo radicular se ve favorecido por sobre la parte aérea, dicha circunstancia ocurre debido a que el regulador del crecimiento promueve el transporte de fotoasimilados hacia la raíz.

En cuanto al peso seco radicular si bien en la primera fecha de evaluación no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, para la segunda instancia se constató que las mayores dosis de los reguladores del crecimiento produjeron plantines con el mayor PSR. Mientras que, para la última evaluación, el tratamiento de mayor media de la variable fue 600 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG. Dicho resultado es consistente con lo reportado por Sarhaan et al. (2010) quienes obtuvieron los mayores valores de PSR al aplicar 500 mg L<sup>-1</sup> de ANA, concluyendo que dosis mayores del regulador causan una reducción en los valores de la variable. Ha sido verificado el efecto negativo de aplicaciones de auxinas con dosis superiores a 500 mg L<sup>-1</sup> sobre el enraizamiento y sobrevivencia de estacas de *E. grandis* (Wendling, 2002). Al

evaluar los diferentes estratos radiculares en el momento final, se percibió que el tratamiento de dosis intermedias (ANA 600 mg L<sup>-1</sup> / AVG 125 mg L<sup>-1</sup>) fue el que más promovió el crecimiento en ambos casos. El tratamiento de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG fue el que obtuvo el menor peso seco radicular en el estrato 2, mientras que para el estrato 1 dicho tratamiento se posicionó en un lugar intermedio al contrastar las medias. En la literatura se encontraron estudios de producción de plantines de *E. grandis*, en los que utilizando un sustrato comercial compuesto por 60 % por cáscara de *Pinus*, 15% de vermiculita y 25 % de humus, reportaron valores promedios de peso seco radicular de 520 mg al momento de expedición (De Menezes Trigueiro & Guerrini, 2003). Aunque todos los tratamientos obtuvieron valores de PSR muy por debajo del alcanzado por los autores, el tratamiento de 600 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG fue el que más se aproximó a los resultados anteriormente mencionados, con un valor de 251 mg. Es posible que el bajo volumen de sustrato o el tamaño de las partículas de pino hayan limitado el desarrollo radicular. Hermann (1964) encontró que el peso seco radicular condiciona la supervivencia de los plantines al momento de establecerlos a campo, siendo mayor cuanto más abundante es el sistema radicular, independientemente de la altura alcanzada.

El peso seco total fue mayor cuando se dosificaron 600 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG, dichas aplicaciones produjeron plantines con mayor peso seco radicular sin un efecto negativo en el crecimiento aéreo por lo que resultaron en una mayor biomasa total. Los tratamientos en los que no se aplicaba ANA alcanzaron valores altos de la variable para las tres instancias de evaluación, en contrapartida la mayor dosis del regulador produjo los plantines con el menor peso seco total en todos los momentos evaluados. El peso seco total de la planta se compone mayormente por la parte aérea (Thompson, 1985). Al realizar este tipo de aplicaciones que promueven el enraizamiento, la producción de hojas y tallos se ve relegada resultando en plantines con un mayor volumen radicular, pero con un menor peso seco total (Li & Liu, 2003) dicho efecto se puede observar al realizar aplicaciones de 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA. Es de destacar el bajo peso total que obtuvieron los tratamientos de manera general, si bien el tratamiento que alcanzó la mayor media fue el de 600 mg L<sup>-1</sup> de ANA y 125 mg L<sup>-1</sup> AVG el valor obtenido (775 mg) se encuentra muy por debajo de lo alcanzado por Caldeira et al. (2013) en plantines de *Eucalyptus* producidos en 20 % sustrato de lodo y 80 % vermiculita, logrando 3440 mg de PSTT a los 90 días desde la siembra.

Considerando los indicadores de calidad de plantines, en primer lugar, el índice HD mostró una gran uniformidad a lo largo de las tres estaciones de medición. En todos los casos los tratamientos que se comportaron de manera exitosa, es decir que se ubicaron en los rangos adecuados para plantines de *Eucalyptus spp.* (entre 5 y 10 (Quiroz Marchant et al., 2009)) fueron los cuales se otorgaron las más altas dosis de ANA independiente a la dosis de AVG. Además, se denota que los tratamientos testigos se mantuvieron en las tres mediciones lejos del rango óptimo, al igual que las dosis bajas de ANA. Esto se explica por el efecto causado sobre la parte aérea de las plantas cuando se aplicó una alta dosis de ANA, donde las alturas por lo general se redujeron. Esta circunstancia deja en evidencia que las plantas sin aplicación se encuentran

desproporcionadas en su relación HD. Resultados similares a los obtenidos al utilizar 1000 mg L<sup>-1</sup> de ANA obtuvieron Lopes et al. (2005), al irrigar diariamente 6 mm de agua a los plantines creciendo en fibra de coco. El índice HD es un indicador de la estabilidad que tendrán los plantines una vez establecidos en campo, así es que cuanto más se distancie los valores obtenidos del rango óptimo, mayor es la probabilidad de no sobrevivir y de sufrir un quiebre de fuste (Klein et al., 2017).

El segundo índice de calidad analizado fue la A/R. Para discutir acerca de los resultados obtenidos es de utilidad mencionar que la relación A/R determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie de absorción de la planta (Luna, 2019). May (1984) defiende que la relación A/R debe ser de 2:1, para alcanzar un buen equilibrio de crecimiento entre la porción aérea y la radicular. En el experimento realizado se verificó que las relaciones más elevadas fueron siempre cuando no se aplicó ANA, muchas veces los tratamientos testigos, se aparejaron a este grupo alcanzando relaciones del orden de 3:1. En contrapartida, se logró visualizar un gradiente favorable en cuanto a una mayor dosis de ANA y una menor relación A/R, o sea que el equilibrio aumentaba alcanzando los valores recomendados. Cuando la relación es 1, el tamaño de la masa radical es igual al tamaño de la masa del tallo. Sin embargo, comúnmente la relación es mayor a 1, dado que el tamaño del tallo con frecuencia supera al sistema radical (Luna, 2019).

En cuanto al Índice de Calidad de Dickson se denota que fue el que más distó de los valores óptimos que se describen en la bibliografía. Como se mencionó, este índice, es uno de los más importantes debido a la certeza que brinda en cuanto a la proporcionalidad de las plantas que serán expedidas. Esta situación se relaciona directamente a la baja proporción de biomasa radicular, ya sea por factores genéticos o de manejo, como puede ser el volumen del sustrato de la bandeja (Castle et al., 2009). Hubo una tendencia a resultar medias más altas, cuando se otorgaron dosis medias de ANA y bajas de AVG, sin aproximarse a los valores óptimos (entre 0,05 y 0,07). Esto se pudo deber a que con estos tratamientos (dosis intermedias) incrementó la parte radicular generando mejores resultados en el índice, por el contrario, a cuando se aplicó dosis altas de ANA que, si bien generaron una alta producción de raíces, a su vez redujo en gran medida la parte aérea repercutiendo así en el cálculo. Estos valores fueron similares a los encontrados en un estudio de *Eucalyptus urograndis* en Perú, donde se realizó un estudio de calidad de plantas de vivero teniendo una media de 0,05 para la especie, los autores así definieron como de baja calidad (Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea, 2020). Binotto et al. (2010) establecieron que el peso seco radicular y total, así como el diámetro al cuello se correlacionan positivamente con el índice de calidad de Dickson en plantines de *E. grandis*. Al realizar algunas conjeturas acerca del porqué de los resultados obtenidos, donde posiblemente las características intrínsecas de la genética están jugando un rol fundamental, acompañado a algunas limitantes físicas (falta de sustrato para exploración radicular) como se mencionó anteriormente. Algunos autores han reportado una estabilización en la tasa de crecimiento del sistema radicular en clones de *Eucalyptus* a los 72 días desde la colecta como resultado de la limitante mecánica impuesta por el volumen de

tubete (50 cm<sup>3</sup>) utilizado (Gonçalves Mafia et al., 2005).

Finalmente, los dos últimos índices de calidad los cuales son las relaciones AF/PSR y PSH/PSR. Al ser índices que relacionan caracteres similares se los puede discutir en conjunto. Los resultados obtenidos no hacen más que reafirmar el papel que tienen estos reguladores y la funcionalidad como herramienta que se les puede dar. Las dosificaciones de ANA redujeron ambas relaciones, favoreciendo la parte radicular de las plantas, tendiendo así a generar plantas más equilibradas. Uno de los objetivos del trabajo era encontrar tratamientos que brinden un mejor desarrollo radicular y mejorar los índices de calidad, con el fin de levantar esta limitante en los campos, Wróblewska y Bąbelski (2010) llegaron a los resultados de qué aplicaciones con ANA tuvieron un efecto significativo en el enraizamiento y desarrollo de *Portulaca*. Con estos índices se observa que, si bien los resultados reflejan mejores estructuras radiculares, esto no se puede analizar aisladamente, ya que se evidenció que las alturas se vieron reducidas, Mestanza Robles (2015) obtuvo resultados similares en los que la altura presentaba decaimiento a medida que aumentaban las dosis de ANA. Entonces, se han logrado plantas de menor estatura, pero con mayor biomasa radicular, lo que puede generar beneficios para su adaptación a las condiciones de campo, y que sean explotados acorde con el manejo silvícola que se realice, como la época del año de plantación de acuerdo con las temperaturas y el estado hídrico del sitio.



## 6. CONCLUSIONES

Se verificó la existencia de efectos significativos de la interacción entre los tratamientos de AVG y ANA y las tres fechas de evaluación. Los tratamientos del ensayo realizados generaron mejoras con respecto a los testigos en los índices de calidad. Igualmente, ninguno de los tratamientos pudo alcanzar el rango óptimo del índice de Calidad de Dickson. En definitiva, el resultado del ensayo determina que los tratamientos mejoran los índices de calidad de planta sin llegar a niveles indicados como aptos en la bibliografía.

En referencia al punto anterior, la dosis ANA 600 / 125 AVG es un posible tratamiento para implementar, ya que es una dosificación intermedia (en referencia a las dosis del ensayo) de los reguladores de crecimiento, y que en la última medición (la más cercana a despacho de plantas) fue el que mayor ICD obtuvo, al igual que la segunda fecha de evaluación. Además de destacarse en este indicador, esta dosis se comportó de manera estable en cuanto al resto de indicadores, en referencia a que, si bien logró mejorar la parte radicular de los plantines en comparación al testigo, no fueron cambios desmedidos. Dicha dosis produjo plantines con un mejor equilibrio entre parte aérea y radicular, pero a la vez no disminuyó significativamente el crecimiento de altura.

A modo de recomendación sería oportuno realizar nuevos estudios tomando los tratamientos que lograron los mejores indicadores, y constatar si existe influencia positiva en cuanto a la mortandad de plantas a campo. En muchos casos los tratamientos que generan una mejora en el desarrollo radicular disminuyen la altura de las plantas, de esta manera sería interesante incluir además alguno de los tratamientos de mayores dosis para observar su desempeño posterior. Esta circunstancia hace que sea también oportuno continuar el ensayo en fase de plantación, para observar la respuesta de la planta en cuanto al crecimiento que genere y que no exista un efecto retardante del mismo.

La aplicación de reguladores de crecimiento es una alternativa que pueden tener al alcance los viveros forestales, ya que es una actividad de fácil implementación en los viveros y presenta potencial para mejorar las relaciones morfológicas y la calidad de los plantines, especialmente en plantas con calidad variable.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., Sanchez, J., & Bañon, M. (2008). Auxinas. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2da. ed., pp. 377-398). McGraw-Hill.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier.
- Alam, S. M., Shereen, A., & Khan, M. (2002). Growth response of wheat cultivars to naphthalene acetic acid (NAA) and ethrel. *Pakistan Journal of Botany*, 34(2), 135-137. [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/34\(2\)/PJB34\(2\)07.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/34(2)/PJB34(2)07.pdf)
- Alcantara Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. <https://doi.org/10.22490/24629448.3639>
- Alía, R., Mancha, J., Sánchez de Ron, D. Barba, D., Climent, J., García del Barrio, J., Notivol, E., & Iglesias, S. (2009). Las regiones de procedencia de las especies forestales en Europa. *Foresta*, (46), 44-48. [https://www.researchgate.net/profile/Jose-M-Garcia-Del-Barrio/publication/41091612\\_Las\\_regiones\\_de\\_procedencia\\_de\\_las\\_especies\\_forestales\\_en\\_Europa/links/0fcfd50d067eec0283000000/Las-regiones-de-procedencia-de-las-especies-forestales-en-Europa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-M-Garcia-Del-Barrio/publication/41091612_Las_regiones_de_procedencia_de_las_especies_forestales_en_Europa/links/0fcfd50d067eec0283000000/Las-regiones-de-procedencia-de-las-especies-forestales-en-Europa.pdf)
- Arguelles y Andres, T., & Panchuk, R. (1994). Efectos del ácido indolbutírico sobre el crecimiento de plantines de Araucaria angustifolia Bert. *Revista Yvyrareta*, (5), 85-89. <https://hdl.handle.net/20.500.12219/3788>
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302-313. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2011-21732014000200012&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000200012&lng=en&tlng=es)
- Balmelli, G., & Resquín, G. (2002). *Evaluación del crecimiento de especies de Eucalyptus en diferentes zonas de prioridad forestal*. INIA.
- Binotto, A. F., Lúcio, A. D. C., & Lopes, S. J. (2010). Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, 16(4), 457-464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., Chippendale, G. M., Hall, N., Hyland, B. P. M., Johnston, R. D., Kleinig, M., McDonald, M. & Turner, J. D. (Eds.). (2006). *Forest trees of Australia* (5ª ed.). CSIRO. [https://books.google.com.uy/books?id=CRQg11hSJ1kC&printsec=frontcover&dq=Forest+trees+of+australia&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Forest%20trees%20of%20australia&f=false](https://books.google.com.uy/books?id=CRQg11hSJ1kC&printsec=frontcover&dq=Forest+trees+of+australia&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Forest%20trees%20of%20australia&f=false)
- Boland, D. J., Brophy, J. J., & House, A. P. N. (Eds.). (1991). *Eucalyptus leaf oils: Use, chemistry, distillation and marketing*. ACIAR/CSIRO.
- Brussa, C. A. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.
- Caldeira, M. V., Delarmelina, W. M., Peroni, L., Gonçalves, E. D. O., & Da Silva, A. G. (2013). Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(2), 155-163. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000200002>

- Carrillo, I., Mendonça, R. T., Ago, M., & Rojas, O. J. (2018). Comparative study of cellulosic components isolated from different Eucalyptus species. *Cellulose*, 25(2), 1011-1029. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1653-2>
- Castaña, J., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., & Aunchayna, R. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429021211104157.pdf>
- Castle, W. S., Nunnallee, J., & Manthey, J. A. (2009). Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. *HortScience*, 44(3), 638-645. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.3.638>
- Cato, S. C., Macedo, W. R., Peres, L. E. P., & Castro, P. R. C. (2013). Sinergism among auxins, gibberellins and cytokinins in tomato cv. Micro-Tom. *Horticultura Brasileira*, 31(4), 549-553. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000400007>
- Comisión Nacional Forestal. (2009). *Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración*.
- Coppola Novo, F. M., Mendoza Muniz, G. N., & Regules Siles, H. P. (2000). *Caracterización de plantines de Eucalyptus y Pinus desde el punto de vista de la calidad en el Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25567/1/C%C3%B3ppolaNovoFernandoMarcelo.pdf>
- Cuesta, G., & Mondaca, E. (2014). Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plantines de tomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(2), 215-222. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.01.001>
- De Benedetti, F., & Freire, J. (2019). *Etiología de la podredumbre radicular y muerte de plantas jóvenes de Eucalyptus smithii* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28944>
- De Camargo e Castro, P. R., Serciloto, C. M., Pereira, M. A., Rodrigues, J. L. M., & Rossi, G. (2009). *Agroquímicos de controle hormonal, fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical*. Universidade de São Paulo. <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/file/4630/download?token=kuRiyN->
- De Menezes Trigueiro, R., & Guerrini, I. A. (2003). Uso de biosólido como substrate para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, (64), 150-162. <http://hdl.handle.net/11449/67553>
- De Smet, I. (2012). Lateral root initiation: One step at a time. *New Phytologist*, 193(4), 867-873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03996.x>
- Di Rienzo, J. A., Macciavelli R. E., & Casanoves, F. (2011). *Modelos lineales mixtos: Aplicaciones en InfoStat*. Grupo Infostat.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 1013.

- Dirección General Forestal. (2021a). *Cartografía Nacional Forestal 2021*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/cartografia-nacional-forestal-2021>
- Dirección General Forestal. (2021b). *Vigésima encuesta de viveros forestales: Año 2020*. MGAP. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Informe\\_final\\_3.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Informe_final_3.pdf)
- Domínguez Lerena, S. (2000). *Influencia de distintos tipos de contenedor en el desarrollo en campo de Pinus halepensis y Quercus ilex*. CEAM. <https://compostamasvi.com/ebooks/influencia.pdf>
- Domínguez Lerena, S., Herrero, N., Carrasco, I., Ocaña, L., & Peñuelas, J. L. (1997). Ensayo de diferentes tipos de contenedores para Quercus ilex, Pinus halepensis, Pinus pinaster y Pinus pinea: Resultados de vivero. En *Sociedad Española de Ciencias Forestales: II Congreso Forestal Español* (pp. 189-194). [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/articulo/view/15398/15241](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/articulo/view/15398/15241)
- Escobar Rodríguez, R. (1994). *La planta ideal: Variables que predicen su comportamiento y factores que lo afectan* [Contribución]. Silvotecnica IV, Concepción.
- Fernández, G., & Johnston, M. (2006). Crecimiento y temperatura. En F. A. Squeo & L. Cardemil (Eds.), *Fisiología Vegetal*. Universidad de La Serena. <http://intranet.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Crecimientoytemperatura.pdf>
- Fontana, M. L., Pérez, V. R., & Luna, C. V. (2020). Efecto de la procedencia sobre el comportamiento productivo de Prosopis alba en plantación. *Acta Agronómica*, 69(1), 68-74. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79711>
- França-Neto, J. B. (2009). Evolução do conceito de qualidade de sementes. *Informativo Abrates*, 19(2), 76-80. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/656862/1/Evolucaoedoconceitodequalidadedesementes.pdf>
- García, M. A. (2007, octubre). *Importancia de la calidad del plantín forestal* [Contribución]. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_concordia\\_importancia\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_plantin\\_forestal.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_importancia_de_la_calidad_del_plantin_forestal.pdf)
- Gomes, J. M., Couto, L., Garcia Leite, H., Xavier, A., & Ribeiro Garcia, S. L. (2002). Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de Eucalyptus grandis. *Revista Árvore*, 26(6), 655-664. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>
- Gonçalves Mafía, R., Couto Alfenas, A., de Siqueira, L., Ferreira, E. M., Garcia Leite, H., & Cavallazzi, J. R. P. (2005). Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. *Revista Árvore*, 29, 947-953. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600014>
- Google. (2023a). [Solís de Mataojo, Lavalleja, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 10 de marzo de 2023, de [https://www.google.com/maps/place/30100+Sol%C3%ADs+de+Mataojo,+Departamento+de+Lavalleja/data=!4m2!3m1!1s0x950aaaf44d253021:0x62c96063ba88530?utm\\_source=mstt\\_1&entry=gps&lucs=47062708&q\\_ep=CAESCtExLiY5LjQwMRqAllgnKgg0NzA2MjcwOEICVvK%3D](https://www.google.com/maps/place/30100+Sol%C3%ADs+de+Mataojo,+Departamento+de+Lavalleja/data=!4m2!3m1!1s0x950aaaf44d253021:0x62c96063ba88530?utm_source=mstt_1&entry=gps&lucs=47062708&q_ep=CAESCtExLiY5LjQwMRqAllgnKgg0NzA2MjcwOEICVvK%3D)

- Google. (2023b). [Vivero Saucedo, Solís de Mataojo, Lavalleja, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 10 de marzo de 2023, de [https://www.google.com/maps/place/-34.609556,-55.470448/data=!4m6!3m5!1s0!7e2!8m2!3d-34.609555!4d-55.4704484999999996?utm\\_source=mstt\\_1&entry=gps&lucs=47062708&q\\_ep=CAESCTEExLjY5LjQwMRgAlgnKgg0NzA2MjcwOEICVVK%3D](https://www.google.com/maps/place/-34.609556,-55.470448/data=!4m6!3m5!1s0!7e2!8m2!3d-34.609555!4d-55.4704484999999996?utm_source=mstt_1&entry=gps&lucs=47062708&q_ep=CAESCTEExLjY5LjQwMRgAlgnKgg0NzA2MjcwOEICVVK%3D)
- Guajardo Garate, C. (1997). *Efecto de la procedencia de semillas en la supervivencia y crecimiento inicial de plantas de Eucalyptus globulus Labill spp. globulus, establecidas en dos sitios diferentes* [Trabajo final de grado, Universidad de Concepción]. Repositorio bibliotecas UdeC. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/7929>
- Guardiola, J. L., & García-Luis, A. (2000). Increasing fruit size in Citrus: Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant growth regulation*, 31(1), 121-132. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006339721880>
- Gutiérrez Caro, B. (1995). Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. *Ciencia & Investigación Forestal*, 9(2), 261-277. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1995.228>
- Gutiérrez Caro, B. (2019). Regiones de procedencia un ordenamiento de fuentes semilleras. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(2), 57-74. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.516>
- Hartmann, H. T., Kester, D., & Davies, F. (1990). *Plant Propagation: Principles and Practices* (5ª ed.). Prentice-Hall.
- Hermann, R. K. (1964). Importance of top-root ratios for survival of Douglas-fir seedlings. *Tree Planters' Notes*, 64, 7-11.
- Hunt, G. A. (1990). Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. En R. Rose, S. J. Campbell & T. D. Landis (Eds.). *Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations* (pp. 218-222). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FtZRAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA218&dq=+Effect+of+styroblock+design+and+cooper+treatment+on+morphology+of+conifer+seedlings.&ots=YAzW5QVYao&sig=n73KKdliselCrYv0YIMgpGgOz30#v=onepage&q=Effect%20of%20styroblock%20design%20and%20cooper%20treatment%20on%20morphology%20of%20conifer%20seedlings.&f=false>
- Izumi, Y., Okazawa, A., Bamba, T., Kobayashi, A., & Fukusaki, E. (2009). Development of a method for comprehensive and quantitative analysis of plant hormones by highly sensitive nanoflow liquid chromatography–electrospray ionization-ion trap mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 648(2), Article e215225. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.07.001>
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006a). Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, giberelinas y citocininas. En F. A. Squeo & L. Cardemil (Eds.), *Fisiología Vegetal*. Universidad de La Serena. <http://www.biouls.cl/librofv/web/index03.php>
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006b). Hormonas y reguladores del crecimiento: Etileno, ácido abscísico, brasinoesteroides, poliaminas, ácido salicílico y ácido jasmónico. En F. A. Squeo & L. Cardemil (Eds.), *Fisiología Vegetal*. Universidad de La Serena. <http://www.biouls.cl/librofv/web/index03.php>

- Jung, J. K., & McCouch, S. (2013). Getting to the roots of it: Genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in Plant Science*, 4, 186. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00186>
- Klein, D. R., Hess, A. F., Krefta, S. M., Vieira Filho, M. D. H., Ciarnoscki, L. D., & Costa, E. A. (2017). Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. *Floresta*, 47(4), 501-512. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V47I4.49667>
- Konzen, E. R., Navroski, M. C., de Olivera Pereira, M., Nascimento, B., Meneguzzi, A., & Fukushima de Souza, P. (2017). Variação genética para variáveis de crescimento de procedências de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage e *E. Smithii* RT Baker do Sul do Brasil. *CERNE*, 23(3), 359-366. <https://doi.org/10.1590/01047760201723032357>
- Lafuente, M. T., & Zacarías, L. (2008). Etileno, ácido abscísico y otros reguladores del desarrollo. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2da. ed., pp. 445-465). McGraw-Hill.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1989). *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor: Volumen 1: Planeación, establecimiento y manejo del vivero*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. [https://rngr.net/publications/ctnm/espanol/volumen-uno/PDF.2004-07-16.1323/at\\_download/file](https://rngr.net/publications/ctnm/espanol/volumen-uno/PDF.2004-07-16.1323/at_download/file)
- Laskowski, M. J., Williams, M. E., Nusbaum, H. C., & Sussex, I. M. (1995). Formation of lateral root meristems is a two-stage process. *Development*, 121(10), 3303-3310. <https://doi.org/10.1242/dev.121.10.3303>
- Li, Z., & Liu, Z. (2003). Effects of benzyladenine and naphthalene acetic acid on growth and camptothecin accumulation in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 22, 205-216. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-003-0015-x>
- Lopes, J. L. W. (2004). *Produção de mudas de Eucalyptus grandis W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação* [Tesis de maestría]. Universidade Estadual Paulista.
- Lopes, J. L. W., Amaral Guerrini, I., Saad, J. C. C., & Da Silva, M. R. (2005). Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. *Scientia Forestalis*, (68), 97-106. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr68/cap09.pdf>
- Ludwig-Müller, J., & Cohen, J. D. (2002). Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*, 115(2), 320-329.
- Luna, C. V. (2019). Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 39(1), 19-29. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2314-369X2019000100002&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2314-369X2019000100002&script=sci_abstract&tlng=en)
- Lym Yong, W. T., Ades, P. K., Bossinger, G., Akter Runa, F., Sandhu, K. S., Potts, B. M., & Tibbits, J. F. G. (2019). Geographical patterns of variation in susceptibility of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus obliqua* to myrtle rust. *Tree Genetics & Genomes*, 15, Article e31. <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1338-5>



- Lynch, J. (1995). Root architecture and plant productivity. *Plant physiology*, 109(1), 7-13. <https://academic.oup.com/plphys/article/109/1/7/6069768>
- May, J. T. (1984). Lifting and field packing. En J. May, E. Belcher, C. Cordell, T. Filer, D. South & C. Lantz (Eds.), *Southern Pine Nursery Handbook* (pp. 81-82). USDA Forest Service.
- Mesén, J. F. (1990). *Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica*. CATIE.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4WM6wyoAx5UC&oi=fnd&pg=PA5&dq=Resultados+de+Ensayos+de+procedencias+en+Costa+Rica.+Centro+Agron%C3%B3mico+Tropical+de+Investigaci%C3%B3n+y+Ense%C3%B1anza&ots=nwR8SA7yV3&sig=JT2\\_2yH6\\_w4r\\_mLI7PMcNfwG7E#v=onepage&q=Resultados%20de%20Ensayos%20de%20procedencias%20en%20Costa%20Rica.%20Centro%20Agron%C3%B3mico%20Tropical%20de%20Investigaci%C3%B3n%20y%20Ense%C3%B1anza&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4WM6wyoAx5UC&oi=fnd&pg=PA5&dq=Resultados+de+Ensayos+de+procedencias+en+Costa+Rica.+Centro+Agron%C3%B3mico+Tropical+de+Investigaci%C3%B3n+y+Ense%C3%B1anza&ots=nwR8SA7yV3&sig=JT2_2yH6_w4r_mLI7PMcNfwG7E#v=onepage&q=Resultados%20de%20Ensayos%20de%20procedencias%20en%20Costa%20Rica.%20Centro%20Agron%C3%B3mico%20Tropical%20de%20Investigaci%C3%B3n%20y%20Ense%C3%B1anza&f=false)
- Mestanza Robles, E. M. (2015). *Efecto del ácido naftalenacético y ácido giberélico en el enraizamiento in vitro de Oreocallis grandijlora (Lam.) R. Br. (CHACPÁ), para su almacenamiento en invernadero* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM.  
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1052>
- Munguía Rodríguez, A. G., & Martínez Trujillo, M. (2018). Las auxinas: Síntesis, transporte y señalización. *Biológicas*, 20(1), 1-7.  
<https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=279&path%5B%5D=444519>
- Muñoz, W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal, en el área de fisiología vegetal*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.  
[http://www.iiap.org.pe/Archivos/Publicaciones/Publicacion\\_2013.pdf](http://www.iiap.org.pe/Archivos/Publicaciones/Publicacion_2013.pdf)
- Nascimento, W. M., dos Santos Dias, D. C. F., & Da Silva, P. P. (2011, 16-18 de noviembre). *Qualidade fisiológica da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo* [Curso]. XI Curso sobre Tecnologia de Produção de Sementes de Hortaliças, Porto Alegre.  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/911285/4/palestra17CursoSementesHortalicas11.pdf>
- Navroski, M., Machado Araujo, M., Silveira Reiniger, L. R., Brião Muniz, M. F., & de Oliveira Pereira, M. (2014). Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. *Floresta*, 45(2), 315-328. <http://dx.doi.org/10.5380/ef.v45i2.34411>
- Oliet, J. (2000). *La calidad de la postura forestal en vivero*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba.
- Oliva-Cruz, C. A., & López, A. (2005). Efecto del ácido naftalenacético, en el enraizamiento de estacas de *Myrciaria dubia* (HBK) MC VAUGH, camu camu. *Folia Amazónica*, 14(2), 43-49.  
<https://doi.org/10.24841/fa.v14i2.146>
- Pinto-Acero, Y. L., Alvarado-Gaona, Á. E., & Álvarez-Herrera, J. G. (2012). Aplicación de ácido alfa-naftalenacético en colinos de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 213-224. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1978>

- Pita Villamil, M., & Pérez García, F. (1998). *Germinación de semillas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1998\\_2090.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf)
- Postma, J. A., Schurr, U., & Fiorani, F. (2014). Dynamic root growth and architecture responses to limiting nutrient availability: Linking physiological models and experimentation. *Biotechnology advances*, 32(1), 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.08.019>
- Prado, J. (1989). Selección de especies y procedencia. En J. Prado & S. Barros (Eds.), *Eucalyptus: Principios de silvicultura y manejo* (pp. 42-56). CORFO, INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/946>
- Prieto Ruíz, J. A., García Rodríguez, J. L., Mejía Bojorguez, J. M., Huchín, A. S., & Aguilar Vitela, J. L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. INIFAP.
- Prieto Ruíz, J. A., Vera Castillo, G., & Merlín Bermúdez, E. (2003). *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Quiroz Marchant, I., Chung Guin-Po, P., García Rivas, E., González Ortega, M., & Soto Guevara, H. (2009). *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. INFOR. [https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta-completo/at\\_download/file](https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta-completo/at_download/file)
- Rachid, C., Resquín, F., Balmelli, G., & Scoz, R. (2021). *Eucalyptus smithii*: Una especie de interés creciente en la región sureste. *Revista INIA*, (60), 71-74. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15767/1/Revista-INIA-65-Junio-2021-16.pdf>
- Ramos-Huapaya, A. E., & Lombardi-Indacochea, R. (2020). Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de caso con "Eucalipto urograndis". *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 132-145. <https://doi.org/10.21704/rfp.v35i2.1581>
- Rodríguez Laguna, R. (2010). *Manual de prácticas de viveros forestales*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Ross, J. J., O'Neill, D. P., Wolbang, C. M., Symons, G. M., & Reid, J. B. (2002). Auxin-gibberellin interactions and their role in plant growth. *Journal of plant growth regulation*, 20(4), 346-353. <https://doi.org/10.1007/s003440010034>
- Sáenz Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 98-111. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000600008&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000600008&script=sci_arttext)
- Sáenz Reyes, J., Villaseñor Ramírez, F. J., Muñoz Flores, H. J., Rueda Sánchez, A., & Prieto Ruíz, J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. INIFAP. <https://docplayer.es/17222741-Calidad-de-planta-en-viveros-forestales-de-clima-templado-en-michoacan.html>



- Saltveit, M. E. (2005). Aminoethoxyvinylglycine (AVG) reduces ethylene and protein biosynthesis in excised discs of mature-green tomato pericarp tissue. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 183-190.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.002>
- Sarhaan, A. M. Z., Arafa, A. M. S., Habba, E. E., & Youssef, N. M. (2010). Effect of naphthalene acetic acid and indole butyric acid on rooting and growth of *Populus euramericana* guinier and *Populus nigra* L. stem cuttings. *The Bulletin, Faculty of Agriculture-Cairo University*, 61(4), 399-405.  
[https://ejarc.journals.ekb.eg/article\\_215511\\_3e42dfad18e1713a3517d0cb\\_d18d1b33.pdf](https://ejarc.journals.ekb.eg/article_215511_3e42dfad18e1713a3517d0cb_d18d1b33.pdf)
- Sasse, J., & Sands, R. (1997). Configuration and development of root systems of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus*. *New Forests*, 14(2), 85-105. <https://doi.org/10.1023/A:1006536512910>
- Segura García del Río, J. (2008). Introducción al desarrollo: Concepto de hormona vegetal. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2da. ed., pp. 351-376). McGraw-Hill.
- Sociedad de Productores Forestales. (2020). *Contribución del complejo forestal a la economía uruguaya: Informe ejecutivo*. [http://www.spf.com.uy/wp-content/uploads/2020/12/SPF-Impacto-Forestaci%C3%B3n\\_Diciembre2020.pdf](http://www.spf.com.uy/wp-content/uploads/2020/12/SPF-Impacto-Forestaci%C3%B3n_Diciembre2020.pdf)
- Sterling, T. M., & Hall, J. C. (1997). Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. En R. M. Roe, J. D. Burton & R. J. Kuhr (Eds.), *Herbicide Activity: Toxicology, Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 111-141). IOS.  
[https://www.researchgate.net/publication/281414392\\_Mechanism\\_of\\_action\\_of\\_natural\\_auxins\\_and\\_the\\_auxinic\\_herbicides](https://www.researchgate.net/publication/281414392_Mechanism_of_action_of_natural_auxins_and_the_auxinic_herbicides)
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. (4<sup>a</sup> ed.). Sinauer.
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking. En M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major test*. (pp. 59-71). Oregon State University.
- Uranga Priore, M. L. (2009). *Evaluación de especies y orígenes de Eucalyptus por tolerancia a heladas en el litoral oeste de Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/20681>
- Vernego, R. (2000). *Estudios de germinación en tres especies del género Nothoscordum* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/25683>
- Wendling, I. (2002). *Rejuvenescimento de clones de Eucalyptus grandis por miniestaquia seriada e micropropagação* [Disertación doctoral, Universidade Federal de Viçosa]. Locus.  
<https://locus.ufv.br/handle/123456789/11370>
- Wendling, I., & Dutra, L. F. (2010). Produção de mudas de eucalipto por sementes. En I. Wendling & L. F. Dutra (Eds.), *Produção de mudas de eucalipto* (pp. 13-47). Embrapa.
- White, T. L., Adams, W. T., & Neale, D. B. (2007). Tree improvement programs-structure, concepts and importance. En T. L. White, W. T. Adams & D. B. Neale (Eds.), *Forest genetics* (pp. 285-302). CABI.  
<https://doi.org/10.1079/9781845932855.0285>

- Willan, R. L. (1991). Planificación de la recolección de semilla. En R. Willian (Ed.), *Guía para la manipulación de semillas forestales*. FAO.  
<https://www.fao.org/3/ad232s/ad232s03.htm#ch3.2.2>
- Woodward, A. W., & Bartel, B. (2005). Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany*, 95(5), 707-735. <https://doi.org/10.1093/aob/mci083>
- Wróblewska, K., & Bąbelewski, P. (2010). The effect of benzyladenine and naphthalene acetic acid on rooting and subsequent growth of *Portulaca umbraticola* Kunth. *Folia Horticulturae*, 22(2), 39-44.  
<http://dx.doi.org/10.2478/fhort-2013-0157>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Meesters, E. H. W. G. (2009). *A Beginner's Guide to R*. Springer.

8. ANEXOS

Anexo A. Tablas estadísticas.

**Cuadro A1**

*Supuestos de normalidad para las variables morfológicas.*

Variable	Normalidad			Homogeneidad de varianza		
	ks.test	ANA	AVG	Fecha/ANA	Fecha/AVG	Fecha/ANA*Fecha/AVG
H	0.134	0.1043	0.8844	0.1124	0.1563	0.9789
D	0.4474	0.435	0.7921	0.6387	0.07238	0.9896
AF	0.6931	0.8618	0.6038	0.7035	0.5462	0.1859
PSH	0.5193	0.8702	0.3964	0.9961	0.6986	0.9973
PSR-E1	0.4589	0.1289	0.5384	0.7533	0.8634	1
PSR-E2	0.7625	0.5473	0.413	0.7168	0.9753	0.5704
PSRT	0.4441	0.198	0.6412	0.2457	0.732	0.9996
PST	0.6633	0.5928	0.4946	0.975	0.5953	1
PSTT	0.7763	0.9885	0.1508	0.987	0.1991	0.9966

*Nota.* H = altura (cm), D = diámetro al cuello (mm), AF = área foliar (mg cm<sup>-2</sup>), PSH = peso seco de hojas (mg), PSR-E1 = peso seco de raíces del estrato 1 (mg), PSR-E2 = peso seco de raíces del estrato 2 (mg), PSRT = peso seco de raíces total (mg), PST = peso seco de tallos (mg), PSTT = peso seco total (mg).

**Cuadro A2**

*Supuestos de normalidad para los indicadores de calidad.*

Variable	Normalidad			Homogeneidad de varianza		
	ks.test	ANA	AVG	Fecha/ANA	Fecha/AVG	Fecha/ANA*Fecha/AVG
HD	0.5876	0.961	0.3357	0.9828	0.8657	0.9999
AR	0.7538	0.889	0.7867	0.5527	0.09785	0.9987
ICD	0.8135	0.8189	0.5822	0.6857	0.6901	1
AF/PSR	0.3391	0.8704	0.5997	0.7933	0.869	0.9988
PSH/PSR	0.3185	0.5567	0.1915	0.8923	0.1543	0.9973

*Nota.* HD = relación altura/diámetro, AR = relación aéreo/radicular, ICD = Índice de calidad de Dickson, AF/PSR = relación área foliar/peso seco radicular, PSH/PSR relación peso seco de hojas/peso seco radicular.

**Cuadro A3**

Valores de p-valor de las variables morfológicas.

variable	p-valor			
	(Intercept)	Fecha	Fecha:AVG	Fecha:AVG:ANA
<b>H</b>	< 0,0001	< 0,0001	1.07E-15	< 0,0001
<b>D</b>	< 0,0001	< 0,0001	4.07E-11	< 0,0001
<b>AF</b>	< 0,0001	< 0,0001	1.38E-11	< 0,0001
<b>PSH</b>	< 0,0001	< 0,0001	6.65E-07	< 0,0001
<b>PSR-E1</b>	< 0,0001	< 0,0001	3.10E-06	< 0,0001
<b>PSR-E2</b>	< 0,0001	1.13E-05	1.09E-07	< 0,0001
<b>PSRT</b>	< 0,0001	< 0,0001	1.71E-08	< 0,0001
<b>PST</b>	< 0,0001	1.13E-05	4.63E-06	< 0,0001
<b>PSTT</b>	< 0,0001	< 0,0001	3.06E-06	< 0,0001

Nota. *H* = altura (cm), *D* = diámetro al cuello (mm), *AF* = área foliar ( $\text{mg cm}^{-2}$ ), *PSH* = peso seco de hojas (mg), *PSR-E1* = peso seco de raíces del estrato 1 (mg), *PSR-E2* = peso seco de raíces del estrato 2 (mg), *PSRT* = peso seco de raíces total (mg), *PST* = peso seco de tallos (mg), *PSTT* = peso seco total (mg).

**Cuadro A4**

Valores de p-valor de los indicadores de calidad.

Variable	p-valor			
	(Intercept)	Fecha	Fecha:AVG	Fecha:AVG:ANA
<b>HD</b>	< 0,0001	0.1725	2.20E-10	< 0,0001
<b>AR</b>	< 0,0001	1.18E-06	5.37E-10	< 0,0001
<b>ICD</b>	< 0,0001	< 2.2e-16	3.67E-05	2.97E-13
<b>AF/PSR</b>	< 0,0001	0.2047	1.29E-09	< 0,0001
<b>PSH/PSR</b>	< 0,0001	1.04E-06	1.65E-07	< 0,0001

Nota. *HD* = relación altura/diámetro, *AR* = relación aéreo/radicular, *ICD* = Índice de calidad de Dickson, *AF/PSR* = relación área foliar/peso seco radicular, *PSH/PSR* relación peso seco de hojas/peso seco radicular.

**Cuadro A5**

*Resultados de la primera evaluación para los indicadores de calidad.*

Tratamiento (ANA / AVG)	HD			AR			ICD			AF/PSR			PSH/PSR		
	Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.		Media	E.E.	
0 / 0	11.53	0.26	cd	2.49	0.21	abc	0.038	0.004	ab	0.100	0.014	abcde	1.61	0.11	abc
0 / 125	12.73	0.43	d	3.08	0.13	a	0.033	0.003	b	0.152	0.005	a	1.97	0.11	a
0 / 250	9.27	0.25	a	2.56	0.22	abc	0.051	0.004	ab	0.119	0.011	abc	1.75	0.11	ab
200 / 0	11.63	0.56	bcd	1.99	0.10	bcd	0.038	0.002	ab	0.091	0.005	bcd	1.30	0.07	bcd
200 / 125	10.23	0.38	abc	2	0.06	bcd	0.046	0.002	a	0.088	0.004	bcd	1.30	0.07	bcd
200 / 250	10.3	0.30	abc	1.99	0.13	bcd	0.045	0.003	ab	0.110	0.010	bcd	1.30	0.07	bcd
600 / 0	9.25	0.38	ab	1.77	0.09	cd	0.042	0.005	ab	0.078	0.005	bcde	1.12	0.03	de
600 / 125	10.32	0.32	abc	2.27	0.07	b	0.038	0.002	ab	0.100	0.004	b	1.51	0.03	b
600 / 250	10.08	0.29	ab	1.86	0.19	bcd	0.044	0.003	ab	0.094	0.010	bcde	1.26	0.03	cd
1000 / 0	10.26	0.31	abc	1.52	0.12	d	0.039	0.003	ab	0.063	0.004	e	0.98	0.03	e
1000 / 125	10.05	0.11	ab	1.77	0.07	cd	0.036	0.002	b	0.078	0.003	cde	1.18	0.03	d
1000 / 250	9.71	0.19	ab	1.76	0.11	cd	0.042	0.002	ab	0.074	0.005	de	1.17	0.03	d

*Nota.* HD = relación altura/diámetro, AR = relación aéreo/radicular, ICD = Índice de calidad de Dickson, AF/PSR = relación área foliar/peso seco radicular, PSH/PSR relación peso seco de hojas/peso seco radicular. E. E. = error estándar (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

**Cuadro A6**

*Resultados de la segunda evaluación para los indicadores de calidad.*

Tratamiento (AN A / AV G)	HD		AR		ICD		AF/PSR		PSH/PSR						
	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.					
0 / 0	12.87	0.26	d	3.41	0.21	a	0.043	0.004	ab	0.138	0.014	abc	2.35	0.17	a
0 / 125	12.49	0.43	cd	3.32	0.13	a	0.044	0.003	ab	0.158	0.005	a	2.18	0.17	b
0 / 250	10.21	0.25	ab	2.99	0.22	ab	0.050	0.004	ab	0.141	0.011	ab	2.04	0.17	a
200 / 0	11.34	0.56	abcd	1.79	0.10	cdef	0.047	0.002	ab	0.082	0.005	de	1.15	0.07	b
200 / 125	10.75	0.38	abc	2.5	0.06	b	0.042	0.002	b	0.102	0.004	bcd	1.64	0.07	c
200 / 250	10.09	0.30	ab	2.33	0.13	bc	0.049	0.003	ab	0.106	0.010	bcde	1.55	0.07	b
600 / 0	10	0.38	ab	1.76	0.09	cdef	0.033	0.005	b	0.073	0.005	ef	1.11	0.14	c
600 / 125	10.31	0.32	ab	2.33	0.07	b	0.054	0.002	a	0.099	0.004	bcd	1.58	0.14	d
600 / 250	10.69	0.29	bc	2.26	0.19	bcd	0.041	0.003	ab	0.107	0.010	bcde	1.48	0.14	e
100 / 0	9.04	0.31	a	1.27	0.12	f	0.041	0.003	ab	0.051	0.004	f	0.79	0.06	e
100 / 125	9.96	0.11	ab	1.78	0.07	de	0.047	0.002	ab	0.088	0.003	cde	1.24	0.06	f
100 / 250	9.37	0.19	a	1.3	0.11	ef	0.050	0.002	ab	0.056	0.005	f	0.69	0.06	f

**Nota.** HD = relación altura/diámetro, AR = relación aéreo/radicular, ICD = Índice de calidad de Dickson, AF/PSR = relación área foliar/peso seco radicular, PSH/PSR relación peso seco de hojas/peso seco radicular. E. E. = error estándar (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

**Cuadro A7***Resultados de la tercera evaluación para los indicadores de calidad*

Tratamiento (ANA / AVG)	HD		AR			ICD		AF/PSR		PSH/PSR					
	Media	E.E.	Media	E.E.		Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.				
0 / 0	12.4	0.26	e	3.14	0.21	ab	0.056	0.004	ab	0.118	0.014	abc	1.96	0.13	ab
0 / 125	12.6	0.43	de	3.21	0.13	a	0.053	0.003	b	0.115	0.005	a	1.95	0.13	ab
0 / 250	11.27	0.25	cde	2.55	0.22	abcde	0.056	0.004	ab	0.090	0.011	abc	1.60	0.13	abcd
200 / 0	10.1	0.56	abcd	3.09	0.10	a	0.068	0.002	a	0.103	0.005	ab	2.01	0.08	a
200 / 125	10.2	0.38	abc	2.36	0.06	bc	0.057	0.002	b	0.098	0.004	ab	1.50	0.08	bcd
200 / 250	11.34	0.30	cde	2.33	0.13	bcd	0.050	0.003	b	0.100	0.010	abc	1.53	0.08	bcd
600 / 0	9.14	0.38	ab	2.19	0.09	cde	0.053	0.005	ab	0.097	0.005	ab	1.41	0.04	cd
600 / 125	10.8	0.32	bcd	2.11	0.07	cde	0.068	0.002	a	0.093	0.004	ab	1.41	0.04	cd
600 / 250	11.09	0.29	cde	2.42	0.19	abcde	0.052	0.003	b	0.097	0.010	abc	1.54	0.04	bc
1000 / 0	9.16	0.31	a	1.55	0.12	f	0.051	0.003	b	0.068	0.004	c	0.97	0.08	e
1000 / 125	10.8	0.11	c	1.87	0.07	def	0.053	0.002	b	0.087	0.003	b	1.18	0.08	de
1000 / 250	9.17	0.19	a	1.68	0.11	ef	0.053	0.002	b	0.082	0.005	bc	1.19	0.08	de

*Nota.* HD = relación altura/diámetro, AR = relación aéreo/radicular, ICD = Índice de calidad de Dickson, AF/PSR = relación área foliar/peso seco radicular, PSH/PSR relación peso seco de hojas/peso seco radicular. E. E. = error estándar (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas por LSD Fisher (p-valor < 0,05).

Anexo B. Aplicación de reguladores del crecimiento.

### Figura B1

*Dosificación de ANA.*



### Figura B2

*Dosificación de AVG.*





**Figura B3**

*Pulverizador manual.*

**Figura B4**

*Aplicación de tratamiento a tres repeticiones.*



**Figura B5****Figura B6**