

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REBROTE EN *Eucalyptus dunnii* BAJO
DIFERENTES TRATAMIENTOS DE COSECHA**

por

Facundo Nicolás SALVATIERRA TORRES

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento –No Comercial– Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director

Ing. Agr. (Dr.) Jaime González Tálce

Tribunal

Ing. Agr. (Dr.) Jaime González Tálce

Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Olivera

Ing. Agr. (Mag.) Gonzalo García Freire

Fecha:

27 de mayo de 2026

Estudiante

Facundo Nicolás Salvatierra Torres

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expreso un sincero agradecimiento a los docentes que participaron en la dirección y orientación de este trabajo; el Ing. Agr. (Mag.) Gonzalo García Freire y el Ing. Agr. (Dr.) Jaime González Tálce, por su compromiso, disposición y valiosos aportes a lo largo de todo el proceso.

A Agro Empresa Forestal S.A. y su personal de trabajo, por brindarme la oportunidad de realizar una pasantía profesional durante mi formación y, posteriormente, la posibilidad de llevar a cabo este trabajo de investigación.

Al Ing. Agr. (Mag.) Horacio Silva, por su colaboración en el análisis estadístico de los datos.

Al Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Olivera, por integrar el tribunal y enriquecer este trabajo con sus aportes.

A mi familia, y en especial a mis padres, por su apoyo y comprensión durante todos estos años.

A mis compañeros de carrera, por acompañarme y compartir grandes momentos dentro y fuera de la Facultad.

Por último, pero no menos importante, a todas las personas que conocí durante esta etapa y que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo a lo largo de mi formación universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 GÉNERO EUCALYPTUS	11
2.2 EUCALYPTUS EN URUGUAY	11
2.3 USOS DE <i>EUCALYPTUS</i> EN URUGUAY	11
2.4 EUCALYPTUS DUNNII.....	12
2.5 MODELO DE PRODUCCIÓN	13
2.6 MANEJO DE REBROTOS	13
2.6.1 Definición.....	13
2.6.2 Origen y naturaleza de los rebrotes	13
2.6.3 Ventajas y desventajas del monte bajo.....	14
2.7 FACTORES QUE CONTRIBUYEN CON LA LIBERACIÓN DE LA LATENCIA EN YEMAS EPICÓRMICAS.....	15
2.7.1 Estrés	15
2.7.2 Luz	16
2.7.3 Vigor de los árboles.....	16
2.7.4 Acción hormonal.....	17
2.7.4.1 Auxinas.....	17
2.7.4.2 Citoquininas.....	18
2.7.5 Toma de nutrientes.....	18
2.8 FACTORES OPERATIVOS QUE AFECTAN EL PROCESO DE REBROTE	19
2.8.1 Estación de apeo	19
2.8.2 Efectos de los métodos de corta del rodal original	20
2.8.3 Altura de corte	21
2.8.4 Diámetro de la cepa.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 SITIO DE ESTUDIO.....	22
3.1.1 Clima	23
3.1.2 Suelos	24
3.2 CARACTERÍSTICAS SILVÍCOLAS.....	25

3.3	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	25
3.4	MAQUINARIA	26
3.4.1	Feller Buncher	26
3.4.2	Harvester	27
3.4.3	Motosierra.....	27
3.5	PRODUCTO QUÍMICO.....	27
3.5.1	Regulador de crecimiento	27
3.5.2	Bioestimulante de suelo.....	28
3.5.3	Concentraciones.....	28
3.6	TOMA DE DATOS	29
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1	SUPERVIVENCIA (%).....	31
4.1.1	Por ensayo	31
4.1.2	Por tratamiento	33
4.1.3	Método de corta.....	34
4.1.4	Altura de corte	37
4.1.5	Aplicación de producto químico	38
4.1.6	Diámetro de cepa	40
5.	CONCLUSIONES	43
6.	REFERENCIAS	45
7.	ANEXOS.....	54

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 <i>Resumen de las variables climatológicas en el departamento de Florida, durante el período 1991-2020</i>	24
Tabla 2 <i>Descripción general de los suelos</i>	24
Tabla 3 <i>Tratamientos resultantes de la combinación de factores a evaluar</i>	26
Tabla 4 <i>Características de los feller buncher</i>	27
Tabla 5 <i>Composición química de Haifa Stim™ Force</i>	28
Tabla 6 <i>Composición química de Bioplus3</i>	28
Tabla 7 <i>Distribución de cepas por clases diamétricas en Cruz Roja</i>	41
Tabla 8 <i>Distribución de cepas por clases diamétricas en Mi Generala</i>	42
Figura 1 <i>Ubicación geográfica de los ensayos en cada predio</i>	22
Figura 2 <i>Ubicación del bloque dentro del rodal</i>	23
Figura 3 <i>Supervivencia promedio por ensayo</i>	31
Figura 4 <i>Rebrotos con necrosis apical como consecuencia de la ocurrencia de heladas</i>	32
Figura 5 <i>Supervivencia por tratamiento</i>	34
Figura 6 <i>Supervivencia de Eucalyptus dunnii en función del método de corta</i>	35
Figura 7 <i>Supervivencia de Eucalyptus dunnii en función de la altura de corte</i>	37
Figura 8 <i>Supervivencia de cepas de Eucalyptus dunnii en función de la aplicación de producto químico</i>	39
Figura 9 <i>Distribución del diámetro de cepa en función de la condición del rebrote</i>	40

RESUMEN

En Uruguay, *Eucalyptus dunnii* Maiden constituye una de las principales especies forestales utilizadas en la producción celulósica. Su sistema productivo se basa en dos alternativas: la plantación convencional o el manejo de rebrotes. La eficiencia de este último depende del porcentaje de supervivencia obtenido en un determinado período de tiempo, el cual está condicionado por múltiples factores bióticos y abióticos. Por lo tanto, con el objetivo de identificar prácticas silvícolas que optimicen la regeneración vegetativa, se plantearon los siguientes objetivos: 1) evaluar el efecto del método de corte, la altura de corte y la aplicación de productos químicos (regulador de crecimiento y bioestimulante de suelo), así como sus interacciones, sobre el porcentaje de supervivencia de cepas de *Eucalyptus dunnii* a los 135 días poscosecha; y 2) analizar el efecto del diámetro de cepa y la estación de apeo como variables predictoras de dicha supervivencia. El estudio se realizó en dos predios forestales ubicados en las proximidades de Alejandro Gallinal (Florida, Uruguay), denominados Cruz Roja y Mi Generala. El diámetro y la altura de cepa se registraron al momento de la instalación de los ensayos, inmediatamente después de la cosecha, mientras que la brotación se evaluó a los 135 días poscosecha (4,5 meses). La supervivencia en función del momento de corta se analizó mediante estadística descriptiva, mientras que el efecto de los tratamientos y los factores se evaluó mediante técnicas de remuestreo tipo bootstrapping. Por último, para el efecto del diámetro de cepa se empleó un modelo logístico clásico. Los ensayos se analizaron de forma independiente debido a la ocurrencia de heladas que afectaron la brotación, principalmente en Mi Generala. Los resultados indicaron que el ensayo instalado en febrero (en Cruz Roja) presentó un 25,6 % más de brotación respecto al instalado en marzo (en Mi Generala). En Cruz Roja no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, alturas de corte, aplicación de productos químicos ni diámetros de cepa; únicamente el método de corte mostró efecto significativo, registrándose mayor supervivencia con el uso de harvester. En Mi Generala, los tratamientos, el método de corte, la altura de corte y el diámetro de cepa influyeron significativamente en la supervivencia, destacándose la motosierra y el feller buncher, así como los cortes a mayor altura y los diámetros superiores. Se concluye que la estación de apeo constituye un factor determinante en la regeneración por rebrote de *Eucalyptus dunnii*, cuyo efecto puede potenciarse mediante una adecuada selección del método y la altura de corte.

Palabras clave: regeneración vegetativa, manejo de rebrotes, repoblación forestal, monte bajo, brotación epicórmica

ABSTRACT

In Uruguay, *Eucalyptus dunnii* Maiden is one of the main forest species used in pulp production. Its production system is based on two alternatives: conventional plantation or coppice management. The efficiency of the latter depends on the survival percentage achieved within a given period, which is conditioned by multiple biotic and abiotic factors. Therefore, with the aim of identifying silvicultural practices that optimize vegetative regeneration, the following objectives were proposed: 1) to evaluate the effect of cutting method, cutting height, and the application of chemical products (growth regulator and soil biostimulant), as well as their interactions, on the stump survival percentage of *Eucalyptus dunnii* at 135 days post-harvest; and 2) to analyze the effect of stump diameter and felling season as predictor variables of said survival. The study was conducted at two forest properties located near Alejandro Gallinal (Florida, Uruguay), named Cruz Roja and Mi Generala. Stump diameter and height were recorded at the time of trial establishment, immediately after harvest, while sprouting was assessed at 135 days post-harvest (4.5 months). Survival as a function of felling time was analyzed using descriptive statistics, while the effect of treatments and factors was evaluated using bootstrapping resampling techniques. Finally, a classical logistic model was used to assess the effect of stump diameter. The trials were analyzed independently due to frost events that affected sprouting, mainly at Mi Generala. Results indicated that the trial installed in February (at Cruz Roja) showed 25.6% higher sprouting than the one installed in March (at Mi Generala). At Cruz Roja, no significant differences were detected among treatments, cutting heights, chemical applications, or stump diameters; only the cutting method showed a significant effect, with higher survival recorded when using a harvester. At Mi Generala, treatments, cutting method, cutting height, and stump diameter all significantly influenced survival, with chainsaw and feller buncher performing notably well, along with higher cutting heights and larger stump diameters. It is concluded that felling season is a determining factor in the coppice regeneration of *Eucalyptus dunnii*, and its effect can be enhanced through appropriate selection of cutting method and height.

Keywords: vegetative regeneration, coppice management, reforestation, coppice forest, epicormic sprouting

1 INTRODUCCIÓN

El área de distribución natural de los *Eucalyptus spp.* se caracteriza por una marcada variabilidad en los regímenes de precipitación, la ocurrencia de incendios y las bajas temperaturas. Como resultado, las especies han evolucionado, desarrollando características de crecimiento y adaptaciones ecológicas que han favorecido la supervivencia de sus ejemplares (Brussa, 1994).

En lo que respecta al género y su vínculo con la producción forestal, esta evolución ha permitido el establecimiento de bosques a partir de la regeneración vegetativa de los tocones remanentes luego de la cosecha. De todos modos, es deseable aplicar técnicas que favorezcan la brotación y aseguren la supervivencia de las cepas, alcanzando así las densidades poblacionales objetivos a turno final.

Un monte bajo, como se le denomina a este tipo de bosques, otorga beneficios ambientales, productivos y económicos significativos si se lo compara con una replantación convencional (Matthews, 1994). Sin embargo, los porcentajes de supervivencia son variables y dependen de múltiples factores bióticos y abióticos, lo que genera un problema para la toma de decisiones.

Por esta razón, Agro Empresa Forestal S.A. ha planteado realizar este trabajo dentro de su Programa de Investigación y Desarrollo, en conjunto con la Facultad de Agronomía.

Objetivos generales.

- Evaluar el impacto de diferentes metodologías de cosecha sobre la supervivencia de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Objetivos específicos.

- Evaluar el efecto individual del método de corte, la altura de corte y la aplicación de productos químicos (regulador de crecimiento y bioestimulante de suelo), así como también sus respectivas interacciones sobre el porcentaje de supervivencia de cepas de *Eucalyptus dunnii* a los 135 días poscosecha.
- Evaluar el efecto del diámetro de cepa y la estación de apeo, como predictor del porcentaje de supervivencia de cepas de *Eucalyptus dunnii* a los 135 días poscosecha.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GÉNERO EUCALYPTUS

Eucalyptus [L'Héritier (1788)] es un género perteneciente a la familia Myrtaceae, subfamilia Leptospermoideae, compuesto por más de 700 especies de hábito subarborescente, arbustivo y arbóreo. Muchas de ellas son endémicas, distribuidas de forma natural a lo largo de la costa australiana e islas vecinas, en el rango de 7°N a 43°39'S. También se lo conoce como un género de árboles austro - malayos, exclusivamente distribuidos al este de la línea de "Wallace", con la excepción de *Eucalyptus alba*, situado al oeste de la misma en el norte de Bali. Un estudio reciente ha determinado que, el género *Eucalyptus* ocupa 101.3 millones de hectáreas australianas, lo que representa el 77% de la superficie de bosque nativo del país (Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences [ABARES], 2019; Brussa, 1994; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1981).

2.2 EUCALYPTUS EN URUGUAY

En Uruguay se han identificado eucaliptos en todo el país, sin embargo, la distribución de los bosques comerciales generalmente se limita al concepto de suelos de prioridad forestal. Esta clasificación está compuesta por nueve grupos CONEAT (07, 09, 2, 4, 5, 7, 8, 9, S09), los cuales se extienden sobre unos 4,3 millones de hectáreas, siendo Río Negro, Paysandú, Durazno, Cerro Largo y Lavalleja los departamentos con mayor superficie forestada por el género (Annunziatto et al., 2016; Dirección General Forestal [DGF], 2025).

El estudio de la cartografía forestal nacional 2024 cuantificó un total de 1.161.850 hectáreas efectivas destinadas al uso forestal. Donde, 667.077 hectáreas (57%) fueron asignadas a plantaciones de *Eucalyptus spp.* de más de tres años, distribuyéndose por especies en un 42,4% para *E. grandis*, 37,5% para *E. dunnii*, 14,5% para *E. globulus* y 5,6% para otras, incluyéndose *E. benthamii* y *E. smithii* (DGF, 2025). Estos valores no consideran los montes de abrigo/sombra ni las mezclas de especies, que ocuparon 81.956 y 11.334 hectáreas, respectivamente, lo que pudo generar una subestimación en el total de hectáreas efectivas plantadas con *Eucalyptus spp.*

2.3 USOS DE EUCALYPTUS EN URUGUAY

En la actualidad de la forestación uruguaya existen dos cadenas de valor con diferentes modelos de producción. Una de ellas es la cadena celulósica, que se basa en la utilización de *E. dunnii*, *E. globulus* y *E. grandis*, cuyas plantaciones, mediante un

ciclo de crecimiento corto, entre 8 y 12 años, permite la obtención de madera destinada a la producción de pulpa de celulosa, siendo exportada como madera rolliza o chip. Por otro lado, está la cadena de madera sólida que utiliza principalmente *E. grandis*, con ciclos largos, entre 18 y 25 años, produciendo madera rolliza para el aserrado y debobinado (Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social [CERES], 2023; Uruguay XXI, 2021).

En 2024, por primera vez en la historia, la celulosa ocupó el primer lugar en el ranking de productos exportados, representando el 20% del monto total (Uruguay XXI, s.f.). Esto refleja el notable crecimiento del sector, ya que, en 1990 representaba apenas el 2,3% del Producto Bruto Interno (PBI), considerándose un país predominantemente importador de productos madereros (CERES, 2023; Tamosiunas, 2011).

2.4 EUCALYPTUS DUNNII

Eucalyptus dunnii Maiden, vulgarmente conocido como eucalipto blanco, se distribuye de forma natural en la costa del centro-este de Australia, entre los límites geográficos de Queensland y Nueva Gales del Sur (Brussa, 1994).

Se desarrolla normalmente en sitios entre 300 a 750 m. sobre el nivel del mar, de clima templado - húmedo. Con temperaturas promedios máximos de 27 a 30 °C y mínimos de 0 a 3 °C, soportando hasta 60 heladas por año; donde las precipitaciones son estivales y oscilan entre 1.000 y 1.750 mm al año (Brussa, 1994). Este mismo autor también indica que, los suelos fértiles son los de su preferencia, con buena capacidad de retención de agua y adecuada aireación, y que presenta alta sensibilidad al mal drenaje.

En la botánica descriptiva se logra diferenciar de otras especies por el tipo de corteza, las hojas intermedias, las inflorescencias y los frutos. Presenta corteza caduca en fajas largas, siendo persistente únicamente en la base del tronco. Las hojas intermedias pueden alcanzar hasta 30 cm de largo. Sus inflorescencias son cimosas, de tipo dicasios 7-floros, simples y axilares, con botones florales pedunculados y pedicelados. Los frutos son hemisféricos, de 0,6 cm de diámetro, presentando disco convexo, exserto con 3 o 4 valvas exsertas (Brussa, 1994).

Según Downes et al. (1997) la calidad de una madera depende de su destino final. Para ello, Toval (2010) afirma que la producción forestal para la industria pastero-papelera debe tomar en cuenta factores como el crecimiento volumétrico ($m^3/ha/año$), la densidad aparente básica (kg/m^3) y el rendimiento bruto en cocción (%), los cuales caracterizan la madera de una especie. Para ello, Doldán et al. (2008) realizó una

comparación entre *E. globulus ssp. globulus* y las cuatro especies más plantadas como alternativa en Uruguay, donde se incluyó *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. globulus ssp. maidenii* y *E. globulus ssp. globulus* con semilla de procedencia de Jeeralang. Dicho estudio se basó en la comparación de las especies en base a los factores mencionados por Toval (2010), obteniendo una marcada superioridad de *E. globulus ssp. Globulus* con respecto a las alternativas. Sin embargo, las especies alternativas se categorizaron como de gran potencial para su utilización en mezclas, obteniendo rendimientos pulpables promedios de 51,4%, frente al 54,5% alcanzado por *E. globulus ssp. globulus*.

2.5 MODELO DE PRODUCCIÓN

En Uruguay, un ciclo productivo de *E. dunnii* oscila entre 8 y 12 años, sin intervenciones intermedias de poda y raleo. A turno final se evalúan dos alternativas desde una perspectiva económica y productiva, las cuales influirán en la metodología empleada para la repoblación del área, sea mediante replantación o manejo de rebrotes.

2.6 MANEJO DE REBROTOS

2.6.1 Definición

Un bosque establecido a partir de un manejo de rebrotes es un sistema de producción denominado monte bajo o tallar; comúnmente aplicado en especies con alta capacidad para rebrotar, promoviendo la producción de madera sostenible luego del primer turno como régimen fustal. En sentido estricto, se define como un método de repoblación forestal basado en la capacidad que presentan algunas especies para regenerar su parte aérea de manera vegetativa, a partir de la brotación ocurrida en los tocones remanentes del cultivo anterior (Evans, 1992; Matthews, 1994; Stape, 1997).

2.6.2 Origen y naturaleza de los rebrotes

La capacidad de una especie para rebrotar es el resultado de su adaptación natural frente a múltiples factores que amenazaron su supervivencia en el área de distribución natural, por ejemplo, los daños causados por animales, patógenos, incendios y tormentas. Aunque no todas las especies rebrotan, en general las gimnospermas no lo logran, pero la mayoría de las angiospermas/latifoliadas sí (Jarman & Kofman, 2018).

En un contexto de producción forestal con *Eucalyptus* ocurre algo similar, no todas las especies rebrotan luego de la tala rasa. De acuerdo con las especies utilizadas en Uruguay, *E. camaldulensis*, *E. globulus ssp. globulus*, *E. globulus ssp.*

maidenii, *E. grandis* y *E. Saligna* presentan buena aptitud para la emisión de rebrotes (J. Cabris, comunicación personal, 8 de junio, 2020).

Estos rebrotes se originan de yemas latentes ubicadas debajo de la corteza viva, en los tejidos donde originalmente se situaban las hojas. En particular para los *Eucalyptus* ensayados y/o cultivados en Uruguay, la presencia de lignotubérculos y la existencia de yemas epicórmicas, de tipo proventicio, le confieren al árbol la capacidad de desarrollar nuevos brotes cuando la parte aérea fue destruida o cosechada (FAO, 1981; J. Cabris, comunicación personal, 8 de junio, 2020).

Un lignotubérculo es un órgano subterráneo de reserva alimenticia, ubicado en la unión del tallo y la raíz, donde se almacena una gran cantidad de yemas latentes, tejido vascular y tejido nutricio, que, en ausencia de la parte aérea, permite emitir nuevos brotes con abundancia de hojas (Brussa, 1994; FAO, 1981).

Las yemas epicórmicas son meristemas vegetativos que se encuentran en estructuras de crecimiento con más de un año de formación. Por lo tanto, los brotes epicórmicos son aquellos originados de yemas que permanecieron durmientes sobre los tallos que elongaron en un periodo anterior (Meier et al., 2012).

Para los *Eucalyptus spp.* utilizados en Uruguay, los brotes epicórmicos se deben a las yemas tipo proventicias, definidas como una serie continua de células relacionadas con el desarrollo de tejido vascular, conocido también como rastro epicórmico, compuesto principalmente por células del parénquima (J. Cabris, comunicación personal, 8 de junio, 2020).

2.6.3 Ventajas y desventajas del monte bajo

Al igual que otros modelos, el monte bajo presenta ventajas y desventajas, dependiendo de un enfoque productivo, económico y ambiental. Según su definición, es un método de regeneración forestal sencillo, en el cual la producción es segura y económicamente más rentable que la regeneración por semilla (Barahona Olmos, 2005).

Vita (1996) señala que, bajo las mismas condiciones de sitio, al inicio del ciclo de producción los brotes crecen más rápido que los plantines provenientes de semilla, dado que las cepas presentan un sistema radicular más desarrollado, con gran reserva de nutrientes que son empleados para el desarrollo de los brotes. Pese a ello, esta ventaja no se mantiene a lo largo de la rotación, ya que el sistema radicular nuevo supera la eficiencia del viejo.

Cole (1983) destaca los beneficios económicos, dado que, en estos modelos se requiere una inversión inicial muy baja, o incluso no se la requiere hasta los dos años, que sería el momento ideal para realizar el manejo de los rebrotes. Asociado a esto, se trata de una práctica con menor impacto ambiental, dado que se eliminan o reducen las operaciones mecanizadas de laboreo, plantación y mantenimiento químico como ocurre en las forestaciones convencionales.

A pesar de ello, no se podría esperar que se genere un monte bajo aceptable en términos poblacionales, dado que los porcentajes de sobrevivencia son variables para todas las especies y dependen de múltiples factores relacionados con la cosecha (Gasparri, 2019). Otra desventaja es el desgaste natural de la cepa debido a la gran cantidad de madera producida en rotaciones cortas, lo que muchas veces provoca un ataque por patógenos que ingresan por la cepa (Matthews, 1994).

2.7 FACTORES QUE CONTRIBUYEN CON LA LIBERACIÓN DE LA LATENCIA EN YEMAS EPICÓRMICAS

2.7.1 Estrés

La brotación epicórmica es una respuesta al estrés o los daños que padece un árbol (Stone & Stone, 1943). Estos autores también señalan que los factores estresantes se pueden clasificar en bióticos o abióticos. El estrés biótico es aquel causado por la acción de seres vivos o agentes patógenos (hongos, virus, bacterias). Por otro lado, el estrés abiótico incluye el fuego, el prolongado déficit hídrico, las temperaturas extremas, el estrés mecánico por viento, la salinidad del suelo, entre otros de origen natural (Tadeo & Gómez-Cadenas, 2008). Ante el manifiesto de alguno de estos factores, los árboles reducen su área foliar, lo que desencadena una reducción o deficiencia en sus tasas de crecimiento. En consecuencia, los árboles promueven la brotación de yemas epicórmicas para restablecer y mantener la funcionalidad y eficiencia de su copa (Deal et al., 2003).

La cosecha forestal podría considerarse una actividad estresante para los árboles. Cuando se procede con el corte, se genera un daño y ocurre un desbalance entre la parte aérea y subterránea del árbol. Por lo tanto, para lograr la sobrevivencia, el tocón remanente debe emitir múltiples brotes utilizando las reservas en el sistema radicular y parte de sí. Private Forests Tasmania (PFT, 2021) reveló que, la estación climática, el método y la altura de corte, como también la extracción de la madera son técnicas vitales a tener en cuenta para mejorar los resultados de brotación.

2.7.2 Luz

En el contexto de la gestión forestal, el aumento de la luminosidad se ha considerado un factor influyente en la liberación de la latencia de yemas epicórmicas (Blum, 1963; Smith, 1965). Estudios en manejo forestal han puesto en evidencia que después de la práctica de tratamientos silvícolas, como los aclareos de copa o cosechas de retención parcial (raleos), los árboles tienden a incrementar la cantidad de brotes epicórmicos en la parte superior del fuste, cercanas a la copa viva (Colin et al., 2010; Erdmann et al., 1985; O'Hara & Berril, 2009). A pesar de ello, son pocas las investigaciones que respaldan estos supuestos con respecto a la luz. Un claro ejemplo es lo que ocurre en rodales naturales, donde algunas especies en bosques cerrados y sin perturbaciones logran emitir brotes epicórmicos con normalidad (Herman, 1964; Nicolini et al., 2001).

En Uruguay, un estudio realizado en *E. globulus* indicó que la práctica del destape comercial de tocones (despeje de los residuos en la superficie del tocón) no se diferenció significativamente del tratamiento sin destape (Gasparri, 2019). Otro estudio realizado en *E. grandis* concluyó que en algunos casos la práctica de destape contribuye al mejor desarrollo del rebrote para las variables altura, diámetro, puntos de brotación y sobrevivencia del rebrote; pero solo tendría sentido si se realiza en presencia de rameros voluminosos, como por ejemplo montes ralos o sistemas de cosechas que concentran mucho residuo (Peirano & Domínguez, 2020).

Por lo tanto, se podría concluir que la luz no es un factor decisivo en la brotación de las yemas epicórmicas, pero, tras un aumento en su intensidad se favorece el crecimiento y la supervivencia del brote (Deal et al., 2003; Spiecker, 1991; Yokoi & Yamaguchi, 1996).

2.7.3 Vigor de los árboles

El vigor desempeña un rol fundamental en la tendencia de los árboles a producir brotes epicórmicos debido que, un menor vigor fomenta la brotación (Meier et al., 2012). Se ha demostrado que la poda intensa disminuye el vigor del árbol debido a la disminución del área foliar, promoviendo significativamente la brotación (O'Hara et al., 2008; O'Hara & Berriel, 2009). Las categorizaciones de copas arbóreas también han evidenciado que los árboles intermedios o suprimidos son más susceptibles a la ramificación (Erdmann et al., 1985; Johnson et al., 1998; Smith, 1965; Smith et al., 1997). Aunque son indicadores con cierta controversia al igual que el fenómeno de la luminosidad.

Nicolini et al. (2001) y Colin et al. (2008) señalaron que los incrementos diamétricos y volumétricos han demostrado mayor consistencia para evaluar el vigor, tomándose como indicadores de crecimiento del árbol.

2.7.4 Acción hormonal

Las hormonas vegetales se definen como un grupo de sustancias orgánicas sintetizadas por la planta, que presentan la capacidad de afectar procesos fisiológicos en concentraciones inferiores a los nutrientes o las vitaminas (Segura, 2008), aunque la respuesta vegetal depende de la concentración hormonal, la eficiencia de señalización y la sensibilidad de los tejidos receptores (Cline & Dong-IL, 2002; Ongaro & Leyser, 2008).

Con respecto a la brotación, Meier et al. (2012) indica que la latencia de las yemas epicórmicas se regula por la producción de auxinas y su interacción con otras hormonas vegetales, en especial las citoquininas, además de otros factores ambientales (ecodormancia). En el mismo sentido, Taiz y Zeiger (2007) afirman que al momento de evaluar el desarrollo aéreo de una planta se está observando la acción entre dos hormonas, las auxinas y las citoquininas.

2.7.4.1 Auxinas

Las auxinas son un grupo de hormonas producidas en los meristemos dominantes a nivel foliar (Kormanik & Brown, 1969), involucradas en múltiples procesos fisiológicos de la planta (Echeverría et al., 2008). En algunas especies arbustivas y arbóreas están asociadas con el concepto de “dominancia apical”, esto debido a que su transporte basípeto impide el desarrollo posterior de otras yemas y brotes laterales (Echeverría et al., 2008). Aunque no existe evidencia experimental, la concentración de auxinas en la base del árbol sería el resultado de la producción total de auxinas de todas las ramas por encima de ese punto (Rasmussen et al., 2010). En contraposición, Meier et al. (2012) afirma que la ruptura de la latencia epicórmica es mucho más compleja que la simple inhibición por auxinas, dado que, también se debe considerar el estado de desarrollo de las yemas y los meristemas individuales.

La poda y el anillado de fuste son tratamientos silvícolas que a menudo estimulan la brotación de yemas epicórmicas, dado que interrumpen el flujo de auxinas desde las yemas terminales. Esto ha planteado la hipótesis que la pérdida o la ausencia de fuentes de auxina permiten la liberación de la latencia de yemas epicórmicas (Kormanik & Brown, 1969; Wignall et al., 1987).

2.7.4.2 Citoquininas

Las citoquininas son otro grupo de hormonas vegetales sintetizadas mayoritariamente en las zonas meristemáticas de las raíces, sin embargo no se excluye la síntesis en órganos aéreos (Segura, 2008). En la brotación se consideran importantes reguladores de la división y elongación celular (Meier et al., 2012), además, la eficaz diferenciación y desarrollo de los brotes en la cepa podría deberse al alto nivel de citoquinina acumulado después de la cosecha (Leopold & Kriedemann, 1975). En desacuerdo con estos supuestos, Pallardy (2008) señala que las citoquininas no promueven la brotación, sino que estimulan el crecimiento del brote luego de liberarse la latencia.

En vista de las inconsistencias respecto al rol de las citoquininas, Freitag (2013) indicó que el uso de fitorreguladores exógenos podría incentivar la emisión de brotes. Su afirmación se basó en estudios previos realizados por Paula Neto et al. (1982), quien concluyó que la aplicación de fitorreguladores sobre la cepa proporcionó un mayor número de brotes, lo que, en el futuro, podría contribuir al aumento de las probabilidades de supervivencia del árbol. Para contextualizar, un regulador vegetal se define como una sustancia sintética que, al aplicarse exógenamente, presenta acciones similares a las de una hormona (Davies, 2004); pudiendo actuar directamente sobre las estructuras celulares objetivo y provocar cambios físicos, químicos y metabólicos en ellas (Castro & Vieira, 2001, como se cita en Freitag, 2013).

Un estudio en rodales comerciales de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* realizado en Brasil, no corroboró la hipótesis de que la aplicación poscosecha de reguladores de crecimiento (cianamida de calcio, thidiazuron y tiourea) sobre el tocón aumentara la cantidad y el vigor de los brotes a los 18 meses; sin embargo, sí demostró una diferencia significativa en el número de brotes a los 3 meses poscosecha (Freitag, 2013).

2.7.5 Toma de nutrientes

La aptitud de un brote en crecimiento para absorber nutriente se relaciona con el tamaño inicial de la yema, lo que probablemente se explica por una mayor conductividad del xilema, asociado con brotes más grandes (Meier et al., 2012). Por lo tanto, con alto grado de certeza, es probable que los brotes pequeños sean fosas débiles de nutrientes, no competitivas cuando los nutrientes son limitados (Harmer, 1989; Kormanik & Brown, 1969; Little, 1970).

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando la evidencia significativa del control hormonal sobre la ramificación epicórmicas (Meier et al., 2012); Segura (2008)

señala que los niveles endógenos de citoquininas resultan afectados por la fuente de nitrógeno disponible en la planta. Por ejemplo, una condición de nitrógeno limitante para la planta se traduce en un incremento de citoquininas en el xilema, promoviendo la brotación.

Con respecto a la productividad de un monte bajo, de Faria et al. (2002) indica que la reducción en la productividad podría atribuirse a la deficiencia de nutrientes, como resultado de la exportación a través de la cosecha; y las posibles pérdidas en el sistema, por lixiviación y erosión (Miranda, 1998). Se reportó que la corteza contribuye notablemente a la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio, encontrándose en mayores proporciones que en la madera (Klein et al., 1997). Por estas razones, según dos Reis y Reis (1997), es vital considerar las reservas en las raíces para mantener el crecimiento inicial de las yemas, pero también existe la necesidad del suministro de fertilizante para alcanzar altas tasas de crecimiento.

Graciano et al. (2006) indicó que el nitrógeno y potasio son los nutrientes que más interactúan en el desarrollo de eucalipto. Un estudio realizado por Rezende et al. (1980, como se cita en Freitag, 2013) concluyó que la aplicación de fertilizante NPK (10:28:06) con boro y zinc, inmediatamente después de la cosecha, promovió el crecimiento de los brotes de eucalipto. Por otro lado, el estudio de Freitag (2013), donde se evaluó la fertilización completa con todos los macro y micronutrientes usualmente aplicados a los cultivos forestales (N, P, K, Ca, Mg, B y Cu), así como la fertilización con omisión individual de cada nutriente, no encontró diferencias significativas para la supervivencia y vigor de los brotes; obteniéndose una supervivencia mayor al 90% a los 6 meses de evaluación.

2.8 FACTORES OPERATIVOS QUE AFECTAN EL PROCESO DE REBROTE

Cuando la regeneración tallar es factible, se debe tener en cuenta algunos factores relacionados a la cosecha del rodal original.

2.8.1 Estación de apeo

Strong y Zavitkovski (1983) afirman que las especies arbóreas que presentan una variación estacional en su crecimiento, suelen maximizar la brotación cuando la cosecha se realiza en invierno. de Souza et al. (2012) señalan que la mayor emisión y supervivencia de los brotes en *Eucalyptus* spp. ocurre a partir de mediados del invierno y posiblemente se deba al aumento de las reservas orgánicas cuando la planta se encuentra en letargo.

Las cosechas de invierno deben planificarse para evitar los periodos de sequía y la ocurrencia de heladas, las cuales podrían ocasionar el desprendimiento de la corteza, desencadenando en la mortandad de los brotes (Ferrari et al., 2004).

En un trabajo realizado por Klein et al. (1997), se evaluó el efecto de la época de cosecha sobre la supervivencia de las cepas de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna* en la región de Guaíba, RS, Brasil. El estudio comparó dos períodos de corta, durante el invierno (del 17 al 30 de julio) y la primavera (del 1 al 15 de noviembre). Los resultados demostraron que, a los 120 días, no se observó una diferencia significativa en el porcentaje de supervivencia final de las cepas; sin embargo, la cosecha primaveral presentó una mayor tasa de emisión de rebrotes, alcanzando el máximo número de brotes a los 60 días, mientras que la cosecha invernal lo hizo a los 120 días. Cabe destacar que no se registraron heladas ni déficit hídrico durante el período de estudio, de lo contrario, estos fenómenos habrían generado variaciones significativas en los resultados.

2.8.2 Efectos de los métodos de corta del rodal original

Los métodos de corta están asociados al tipo de maquinaria empleada durante el apeo de los árboles y los daños generados en el tocón.

En un experimento realizado por Hakamada et al. (2022) en Mogi Guacu, SP, Brasil, se evaluó el impacto del método de cosecha con motosierra y feller-buncher, sobre la supervivencia, el crecimiento y la uniformidad de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, a escala experimental y operacional. Independientemente de la escala, a los 4 años, los tratamientos que implicaron el uso de motosierra obtuvieron mejores resultados estadísticos para todas las variables en estudio. Con respecto a la supervivencia, a escala experimental se obtuvo un valor promedio de 97% con motosierra, mientras que con feller-buncher disminuyó a 74%. A escala operacional la diferencia se redujo, pero la tendencia fue similar, obteniéndose un valor promedio de 96% y 88%, respectivamente.

En otro experimento realizado por Gasparri (2019) al sureste de Uruguay, se evaluó el efecto de dos sistemas de cosecha mecanizada sobre la supervivencia de *Eucalyptus globulus*. En esta oportunidad, la maquinaria utilizada fueron harvester y feller-buncher. Luego de 8 meses de la cosecha final, los resultados indicaron que, el sistema de cosecha con harvester alcanzó una supervivencia de 92,5%, en comparación con el 73,8% obtenido con feller-buncher. Estas diferencias observadas podrían estar relacionadas con la naturaleza del corte. En un estudio realizado por

Camargo et al. (1997), cuando la corteza presentó un daño del 75%, la supervivencia del árbol se redujo hasta en un 13%.

2.8.3 Altura de corte

Según Luz et al. (2018), la altura de corte podría tener un efecto positivo en la supervivencia de las cepas, dado que, tocones más altos proporcionarían mayor cantidad de yemas activas. Otra proposición sostiene que las alturas de corta habitual no afectarían el número de rebrotes por cepa ni la altura del rebrote dominante, pero sí afectarían el rendimiento del rodal original y la resistencia al viento del futuro tallar (J. Cabris, comunicación personal, 8 de junio, 2020).

En el estudio realizado por Klein et al. (1997), se evaluaron cuatro alturas de corte (5, 10, 15 y 20 cm) para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna*. A los 120 días de la cosecha, las mayores alturas presentaron mayor supervivencia. Sin embargo, no se encontró diferencias significativas entre los 10 y 20 cm de corte.

De acuerdo con otra investigación realizada en Barra da Choca, BA, Brasil, donde se evaluó la influencia de la altura de corte sobre el vigor de brotes de *Eucalyptus spp*; se observó que las cepas más altas, presentaron mayor número de brotes a los 90 días después del corte, aunque la correlación se relacionó débilmente (0,2658) (Luz et al., 2018).

2.8.4 Diámetro de la cepa

Los tocones de mayor diámetro tienden a presentar un mayor vigor de brotación, lo cual, podría deberse a un sistema radicular más desarrollado (Luz et al., 2018) y una mayor cantidad de reservas de carbohidratos (Benedito & de Freitas, 2022).

Benedito y de Freitas (2022) realizaron un estudio en Vitória da Conquista, BA, Brasil, donde evaluaron el vigor de los brotes de *Eucalyptus urograndis* en función del diámetro de los tocones, clasificados en 4 categorías; tocones menores a 12 cm, de 12 a 15 cm, de 15,1 a 18 cm y mayores de 18 cm de diámetro. Los resultados indicaron que el diámetro no afectó la cantidad de brotes generados a los 150 días, pero sí influyó en la altura del brote dominante, observándose que los diámetros mayores a 15,1 cm desarrollaron brotes más altos a partir de los 120 días.

Resultados similares fueron obtenidos por Luz et al. (2018) para *Eucalyptus spp.*, donde a los 90 días, el diámetro de las cepas no mostró una correlación positiva con el número de brotes, ni tampoco se observó una correlación significativa con la altura y el diámetro del brote dominante.

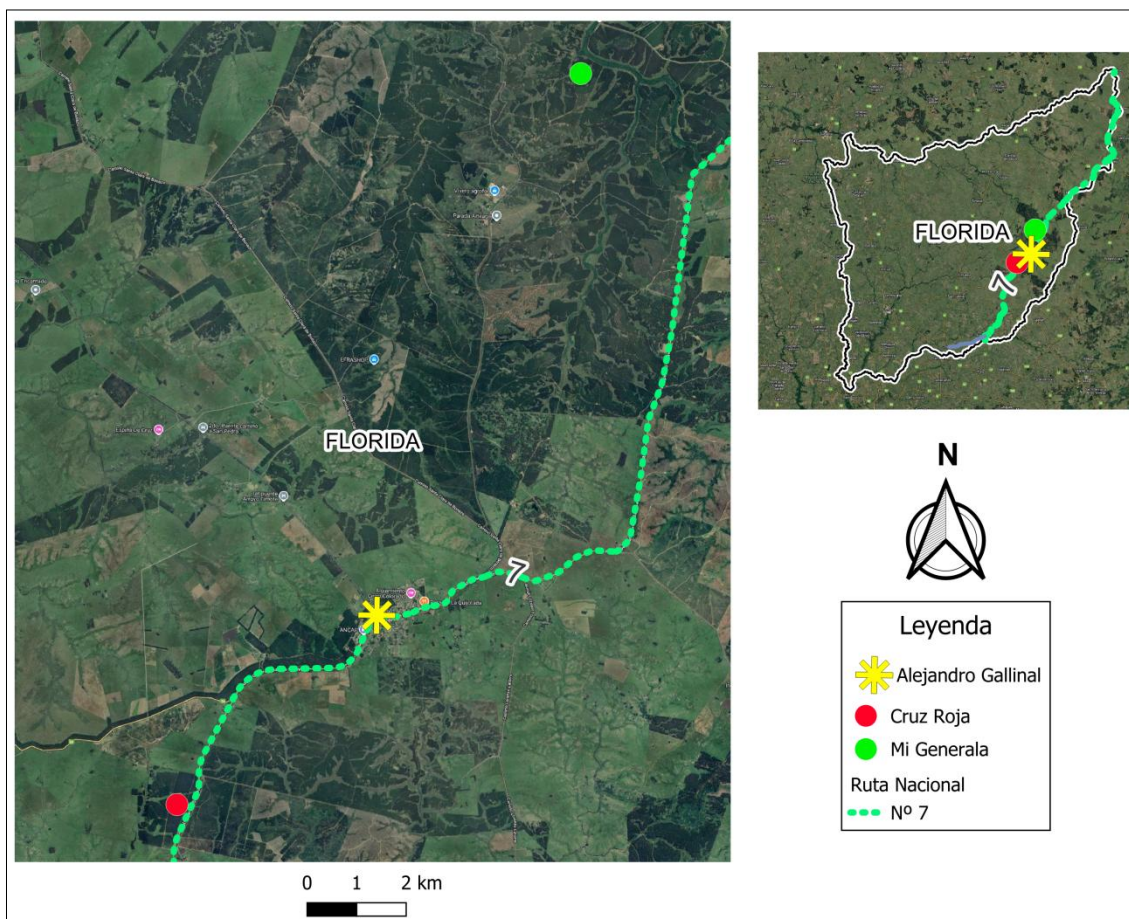
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SITIO DE ESTUDIO

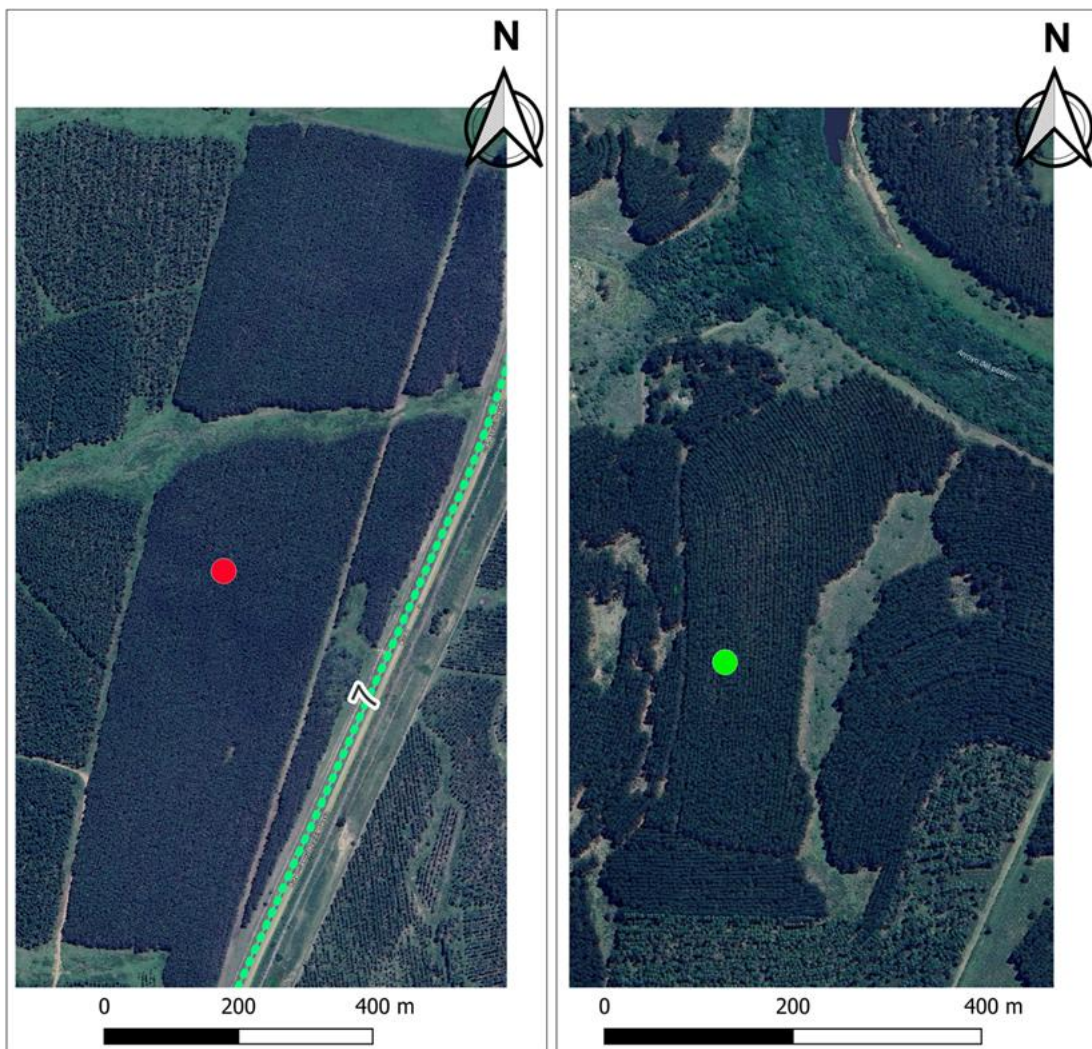
El estudio se llevó a cabo en dos predios forestales de Agro Empresa Forestal S.A. Cruz Roja ($33^{\circ}53'48.9''S$, $55^{\circ}35'27.9''W$) (Google, 2025b) y Mi Generala ($33^{\circ}45'45.4''S$, $55^{\circ}30'18.8''W$) (Google, 2025c), ubicados al este del departamento de Florida, próximo a la localidad de Alejandro Gallinal.

Figura 1

Ubicación geográfica de los ensayos en cada predio



Nota. Adaptado de Google (2025a).

Figura 2*Ubicación del bloque dentro del rodal*

Nota. A la izquierda Cruz Roja, a la derecha Mi Generala. Adaptado de Google (2025b, 2025c).

De acuerdo con la información proporcionada por Infraestructura de Datos Espaciales (IDE, s.f.), el ensayo localizado en Cruz Roja se instaló a una altitud de 215 ± 5 m. sobre el nivel del mar, mientras que el ensayo de Mi Generala se ubicó sobre los 165 ± 5 m. sobre el nivel del mar.

3.1.1 Clima

A continuación, se presenta una breve caracterización climática del departamento de Florida. Los datos presentados son de libre acceso y fueron obtenidos en el sitio web del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.), registrados en la estación meteorológica de Florida capital, ubicada en $34^{\circ}03'57.6''S$, $56^{\circ}14'16.8''W$, durante el periodo 1991 y 2020.

Tabla 1

Resumen de las variables climatológicas en el departamento de Florida, durante el período 1991-2020

Variable	Anual	Enero	Julio
Temperatura media(°C)	16,7	23,4	10
Temperatura máxima media (°C)	22,7	30,2	15,2
Temperatura mínima media (°C)	10,7	16,5	4,9
Precipitación acumulada (mm)	1.257,8	105	94
Días con precipitación (≥ 1mm)	85	6	7
Ocurrencia promedio de heladas.	18		

Nota. Adaptado de INUMET (s.f.).

Según los reportes de climatología estacional emitidos por INUMET (2025b), durante el otoño la temperatura mínima registrada en la estación meteorológica de Florida fue de $-0,2$ °C el 23 de mayo, mientras que la máxima alcanzó los $36,6$ °C el 4 de marzo. En cambio, durante el invierno la temperatura mínima registrada fue de $-5,0$ °C el día 2 de julio, con un total acumulado de 23 heladas (INUMET, 2025a).

3.1.2 Suelos

Según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 y la descripción de los grupos de suelos CONEAT, Cruz Roja y Mi Generala conforman distintas unidades geológicas y grupos de suelos (Durán, 1976; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 2020).

Tabla 2

Descripción general de los suelos

	Cruz Roja	Mi Generala
Unidad	San Gabriel – Guaycurú (SG–G)	Sierra de Polanco (SP)
Suelo dominante	Brunosoles Subéutricos (Eutricos) Háplicos. Franco gravosos. Superficiales.	Brunosoles Subéutricos Háplicos. Franco arenosos o franco. Superficiales. Brunosoles Subéutricos Típicos. Franco, superficiales a moderadamente profundos.
Grupo CONEAT	2.13	2.11a
Prioridad forestal	No	Si
Índice de productividad	92	53

Nota. Adaptado de MGAP (2020) y Durán (1976).

3.2 CARACTERÍSTICAS SILVÍCOLAS

En Cruz Roja, el ensayo se ubicó en el rodal 1-1, plantado en 2014 con *Eucalyptus dunnii* proveniente de semilla, manejado bajo un régimen fustal y con una superficie total de 42,3 ha. Según los resultados del inventario pre-cosecha, el rodal registró una densidad promedio de 1.264 árboles/ha, con un volumen individual de 0,10 m³ por árbol y un volumen total estimado de 123,3 m³/ha (D. Romero, comunicación personal, 2 de junio, 2025).

En Mi Generala, el ensayo se instaló en el rodal 8-1, el cual presentó las mismas características en cuanto a especie, año de plantación y régimen productivo respecto al sitio de Cruz Roja, y posee una superficie de 46,8 ha. Según los resultados del inventario pre-cosecha, el rodal registró una densidad promedio de 1.042 árboles/ha, con un volumen medio de 0,16 m³ por árbol y un volumen total de 168,3 m³/ha (D. Romero, comunicación personal, 2 de junio, 2025).

El período de evaluación fue de 135 días en ambos ensayos. En Cruz Roja, la evaluación se realizó entre el 19 de febrero y el 4 de julio de 2025, mientras que en Mi Generala se llevó a cabo entre el 26 de marzo y el 7 de agosto de 2025. Cabe destacar que la fecha de inicio de la evaluación coincidió con la fecha de apeo en ambos ensayos. La duración del período de evaluación se definió en 135 días debido a que el ensayo instalado en Cruz Roja estaba destinado posteriormente al establecimiento de una nueva plantación. En consecuencia, fue necesario dar inicio a las labores de preparación de suelo, lo que imposibilitó la continuidad de las evaluaciones.

3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para evaluar la supervivencia se seleccionaron dos rodales próximos a la cosecha. Uno fue intervenido en febrero de 2025 (Cruz Roja) y otro en marzo del mismo año (Mi Generala). Cada sitio se consideró como un ensayo, diferenciándose entre sí por la estación de apeo, el tipo de suelo y las características dendrométricas del crecimiento. Los ensayos se instalaron durante la operativa de cosecha llevada a cabo por una empresa tercerizada, la cual, en ambas intervenciones contó con el mismo equipo de personal.

Posteriormente, se aleatorizaron nueve tratamientos resultantes de la combinación de los niveles de tres factores; 1) método de corte, 2) altura de corte y 3) aplicación o no de un producto químico sobre la superficie de corte postcosecha. Sin embargo, no se evaluaron todas las combinaciones posibles, sino únicamente aquellas consideradas de interés para el estudio (Tabla 3 y Anexo A1).

Tabla 3*Tratamientos resultantes de la combinación de factores a evaluar*

Tratamiento	Método de corte	Altura de corte	Aplicación de producto químico
1	Feller buncher	Baja	-
2	Feller buncher	Alta	-
3	Feller buncher	Baja	Bioestimulante
4	Feller buncher	Baja	Hormona de crecimiento
5	Harvester	Baja	-
6	Harvester	Alta	-
7	Harvester	Baja	Bioestimulante
8	Harvester	Baja	Hormona de crecimiento
9	Motosierra	Baja	-

Para aclarar el concepto de altura de corte alta y baja, a continuación, se presentan los resultados obtenidos en su análisis descriptivo. En Cruz Roja, la altura baja presentó un valor medio de $15,8 \pm 9$ cm, con un coeficiente de variación (CV) de 57%, mientras que la altura alta alcanzó una media de $32,6 \pm 9,1$ cm y un CV de 27,9%. En Mi Generala, la altura baja mostró una media de $16,3 \pm 10,1$ cm y un CV de 62%, mientras que la altura alta presentó un valor medio de $34 \pm 12,1$ cm y un CV de 35,6%. Estos resultados evidencian una mayor uniformidad de las alturas en cortes altos, otorgando mayor confiabilidad a los resultados y facilitando la interpretación estadística de las diferencias entre tratamientos y niveles del factor.

3.4 MAQUINARIA

3.4.1 Feller Buncher

Por averías mecánicas al momento de instalar el ensayo de Mi Generala, el feller buncher varió su marca con respecto al utilizado en Cruz Roja.

Para Cruz Roja se utilizó un Tigercat modelo 726G, mientras que, para Mi Generala se empleó un Jonh Deere modelo 843K. Ambos de rueda, pero con variaciones en el peso operativo y la altura del cabezal, las cuales se detallarán a continuación (Tabla 4).

Tabla 4*Características de los feller buncher*

Modelo	Modelo del cabezal	Peso operativo total (kg)	Altura de cabezal - sin patines (m)	Altura de cabezal - con patines (m)
Tigercat 726G	5600	15.570	2,69	-
Jonh Deere 843K	FD22B	15.708	-	3,06

Nota. Adaptado de *Los feller bunchers* (2022), *New Products – John* (2018), *Tigercat disc saw* (2018).

3.4.2 Harvester

Los tratamientos que incluyeron la cosecha con harvester utilizaron la misma máquina en ambos predios, marca Ponsse modelo ERGO 6W (6x6), con grúa C44 y cabezal modelo H7 HD Euca. Según las especificaciones técnicas de la máquina, el peso operativo varía entre 19.000 y 20.000 kg (*A stable and ergonomic powerhouse*, 2019).

3.4.3 Motosierra

Para este tratamiento se utilizó una motosierra a gasolina marca Husqvarna, modelo 135 Mark II, equipada con un motor de 38 cm³, con una potencia de 1,6 kW y una espada de 16 pulgadas de longitud (*HUSQVARNA 135 Mark II*, s.f.).

3.5 PRODUCTO QUÍMICO

Los tratamientos que incluyeron la aplicación de producto químico se basaron en la utilización de un regulador de crecimiento y un bioestimulante de suelo. La aplicación se realizó directamente sobre la superficie del tocón, luego de la cosecha o dentro de un período no mayor a 24 horas, cuando los vasos conductores aún estaban abiertos.

3.5.1 Regulador de crecimiento

Haifa StimTM Force es un suplemento fisionutricional, compuesto por bioactivadores de origen vegetal. Cuando se aplica por pulverización foliar, entre sus beneficios se destaca la inducción del crecimiento de brotes laterales.

Tabla 5*Composición química de Haifa Stim™ Force*

Elemento	Concentración
Nitrógeno orgánico	3%
Carbono orgánico	10,4 %
AA y Péptidos	15%
Free L-Aminoácidos	10,1%
Mannitol	0,22%
Betaina	0,17%
Citoquinina	112 ppm
Auxina	24 ppm

Nota. Adaptado de *HaifaStim™ Force* (s.f.).

3.5.2 Bioestimulante de suelo

Bío Plus3 es un biofertilizante de origen 100% ecológico. Según su fabricante, *Bío Plus 3* (s.f.), se define como un producto diseñado con el propósito de activar y multiplicar los microorganismos nativos del suelo y el desarrollo radicular de las plantas, generando las condiciones óptimas para la absorción de nutrientes vitales.

Tabla 6*Composición química de Bioplus3*

Origen	Compuesto	Concentración (%)	Total (%)
Inorgánico	Nitrógeno inorgánico	2	2,172
	Boro	0,03	
	Manganeso	0,07	
	Zinc	0,07	
	Cobalto	0,002	
Orgánico	Carbono orgánico	5	9,8
	Aloe Vera	0,2	
	Humectantes	0,9	
	Aminoácidos	0,4	
	Ácidos fúlvicos	0,4	
	Extractos de algas marinas	0,5	
	Vitaminas	0,3	
	Carbohidratos	2,1	
Total			11,972

Nota. Adaptado de *Bío Plus 3* (s.f.).

3.5.3 Concentraciones

Para los tratamientos que requirieron la aplicación de Haifa Stim™ Force y Bioplus 3, se preparó una solución independiente para cada producto a una concentración del 20% (v/v). La dosis de aplicación fue de 0,038 L por cepa, por lo que fue necesario calibrar previamente el tiempo de descarga en función del operario y de la mochila pulverizadora utilizada.

Previo a la aplicación de los productos, se realizó la calibración de la mochila pulverizadora con el objetivo de determinar el tiempo de aplicación necesario para la dosis establecida por cada cepa. Para ello, se llenó el equipo con agua y, manteniendo las condiciones habituales de trabajo, el operario pulverizó durante 1 minuto dentro de una probeta graduada. El volumen recolectado fue de 456 mL, lo que permitió calcular un caudal promedio de $7,6 \text{ mL s}^{-1}$. Considerando que la dosis objetivo correspondía a 38 mL por cepa, se determinó un tiempo de aplicación de 5 segundos por cepa, obtenido a partir de la relación entre el volumen requerido y el caudal medido. Este procedimiento permitió asegurar una aplicación uniforme de los productos en todas las cepas evaluadas.

3.6 TOMA DE DATOS

Los primeros datos se relevaron luego de la instalación de cada ensayo con sus respectivas parcelas. En esa oportunidad se midió el diámetro de tocón con una cinta diamétrica y la altura de corte con una regla plegable.

La evaluación del rebrote de las cepas se llevó a cabo a los 135 días poscosecha, registrándose la presencia o ausencia de brotes en cada cepa, sin considerar la cantidad de estos.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En primera instancia, se estimó la supervivencia poblacional por ensayo mediante un análisis estadístico descriptivo, registrando el número de cepas brotadas en relación con el total cuantificado. Luego se aplicó un análisis estadístico de tipo *bootstrapping* (muestreo con reemplazo), empleando 5.000 réplicas, lo que permitió comparar las medias *bootstrap* entre tratamientos y obtener los valores *p* asociados con un mayor grado de confianza para su comparación. Este procedimiento se aplicó para la variable de respuesta supervivencia (%), considerando los tratamientos generales, el método de corte utilizado, la altura de corte y la aplicación del producto químico.

Para evaluar el efecto del diámetro de cepa sobre la supervivencia se ajustó un modelo logístico clásico, independiente para cada ensayo. La significancia estadística se determinó mediante los valores *p* de cada coeficiente, mientras que la precisión e intervalos de confianza del 95% para los odds ratios se obtuvieron mediante bootstrap no paramétrico con 5.000 remuestreos. Adicionalmente, se estimaron las probabilidades de supervivencia para los cuartiles del diámetro, calculando los incrementos porcentuales entre ellos.

El modelo logístico clásico planteado fue el siguiente;

$$\ln (p_i / (1 - p_i)) = \beta_0 + \beta_1 d_i$$

- p_i = Probabilidad de supervivencia del tocón (i).
- β_0 = Intercepto.
- β_1 = Efecto del diámetro sobre la probabilidad de supervivencia .
- d_i = Diámetro del tocón (i).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

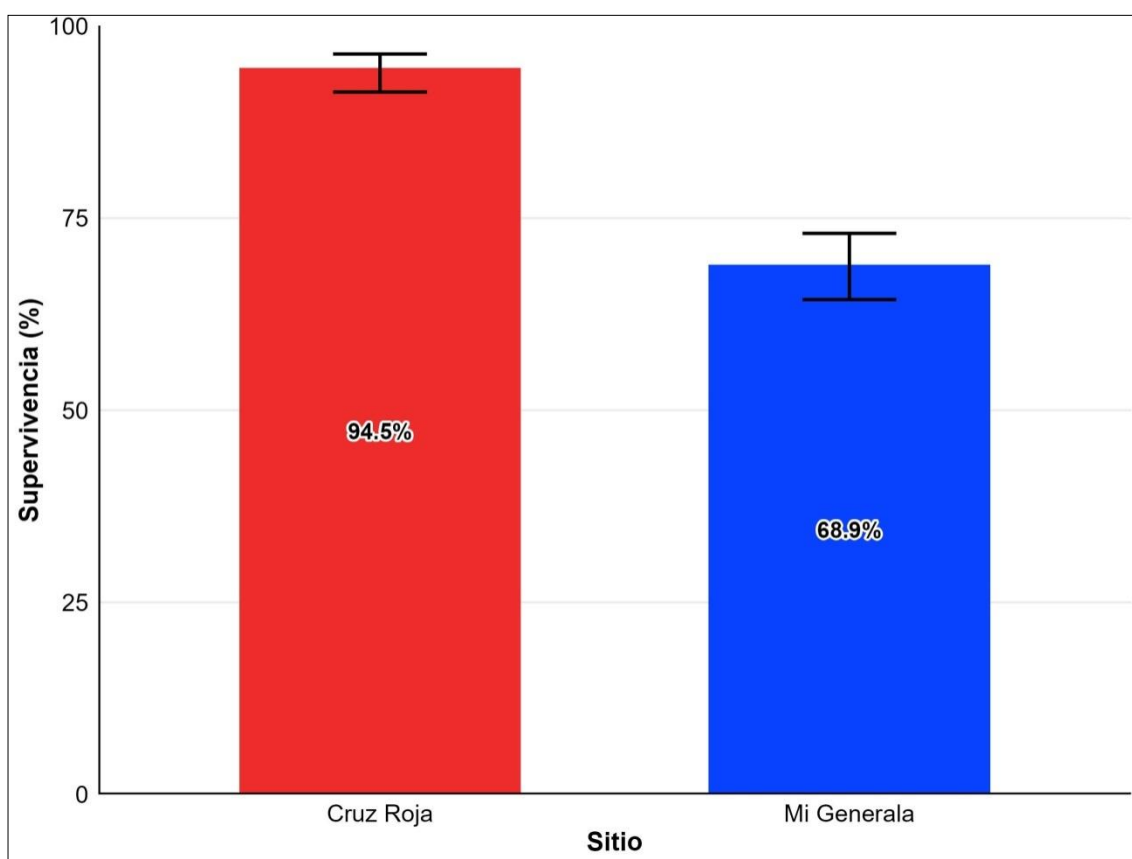
4.1 SUPERVIVENCIA (%)

4.1.1 Por ensayo

A los 135 días poscosecha, el promedio general de cepas rebrotadas fue de 94,5% (91,4 – 96,4; IC 95%) en Cruz Roja y de 68,9% (64,4 – 73; IC 95%) en Mi Generala (Figura 3). En Cruz Roja, este valor correspondió a 363 cepas brotadas de un total de 384 cepas evaluadas, mientras que en Mi Generala se contabilizaron 305 brotadas de un total de 443 evaluadas.

Figura 3

Supervivencia promedio por ensayo



Estos resultados se pueden comparar con los reportados por Gasparri (2019), quien obtuvo una supervivencia del 85,9% en su ensayo instalado en la misma región del país, durante los meses de junio y julio. En este contexto, la supervivencia observada en Cruz Roja fue superior a la reportada por dicho autor, mientras que en Mi Generala resultó inferior. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la estación de apeo, el mayor tiempo transcurrido hasta la evaluación (240 días poscosecha) y las diferencias interespecíficas, dado que Gasparri (2019) trabajó con *Eucalyptus globulus*.

Si bien existieron diferencias entre nuestros ensayos, tales como son el tipo de suelo y las características dendrométricas de los rodales, estas no permitirían explicar por sí solas los contrastes observados. La marcada diferencia en la supervivencia podría atribuirse principalmente a las distintas ventanas temporales entre el apeo y la ocurrencia de las primeras heladas, determinadas por las condiciones climáticas al momento del apeo de los árboles. La cosecha de febrero permitió un mayor desarrollo inicial de los brotes bajo condiciones térmicas favorables, caracterizadas por temperaturas más elevadas, mayor radiación y una mayor actividad metabólica, favoreciendo una rápida acumulación de biomasa y el uso eficiente de las reservas carbonadas. En este sentido, Kozłowski et al. (1991) y Close y Beadle (2003) señalan que, en especies leñosas, y particularmente en *Eucalyptus ssp.*, el crecimiento activo bajo condiciones térmicas favorables resulta clave para que los tejidos jóvenes alcancen un estado fisiológico más tolerante a los eventos de estrés (ver Anexo A2). En contraste, el apeo efectuado a comienzos del otoño (en Mi Generala) expuso los brotes a heladas tempranas, afectando los tejidos aun poco rustificados, ocasionando así la necrosis apical y la pérdida de yemas activas (Figura 4). Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en *Eucalyptus ssp.*, donde los brotes jóvenes presentan una elevada sensibilidad al daño por heladas cuando aún no han completado su proceso de endurecimiento (Davidson, 1997, como se cita en Guzman et al., 2013), lo que puede derivar en una reducción significativa de la supervivencia, tal como fue observado por Butnor et al. (2019) en estudios sobre tolerancia al frío en especies de eucaliptos cultivados en ambientes templados (ver Anexo A3).

Figura 4

Rebrotes con necrosis apical como consecuencia de la ocurrencia de heladas



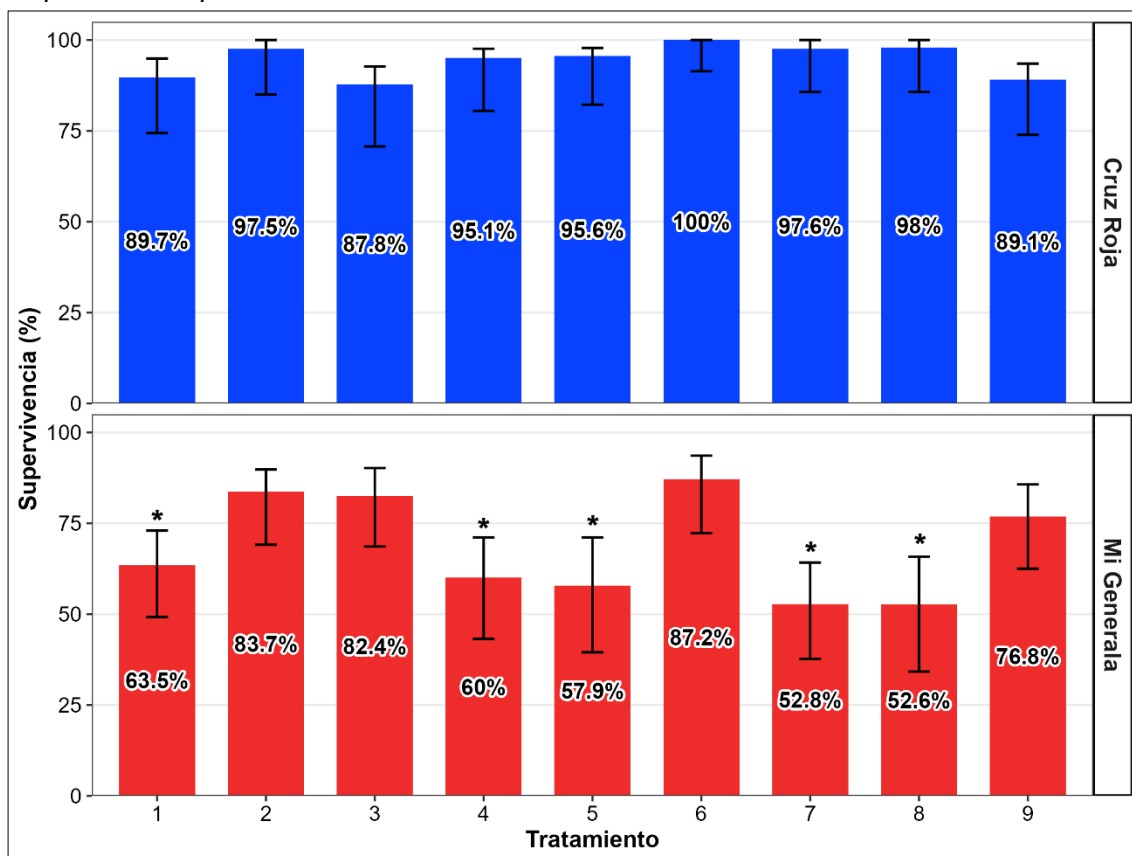
Nota. Fotografía tomada en Mi Generala durante la evaluación final (135 días).

4.1.2 Por tratamiento

Con respecto a los tratamientos evaluados, las respuestas en supervivencia fueron algo dispares, tanto para los tratamientos como también para los ensayos.

En Cruz Roja, el mejor desempeño en términos de supervivencia correspondió al tratamiento N° 6, el cual combinó el uso de harvester y altura de corte alta, sin aplicación de producto químico, alcanzando un 100% de supervivencia. Por el contrario, el valor más bajo se registró en el tratamiento N° 3, que combinó el uso de feller buncher, una altura de corte baja y la aplicación del bioestimulante, con una supervivencia del 87,8 %. De todas formas, esta diferencia de 12,2% no evidenció diferencias significativas en la comparación de medias entre tratamientos ($p= 0.4730$) (ver Anexo A4 – A5).

En Mi Generala, el mejor desempeño correspondió nuevamente al tratamiento N° 6, alcanzando un 87,2% de supervivencia. En cambio, el valor más bajo se registró en el tratamiento N° 8, que implicó el uso de harvester, con altura de corte baja y la aplicación de producto químico hormonal, con una supervivencia del 52,6%. Esta diferencia de 34,6% sí presentó diferencias significativas en la comparación de medias ($p < 0,0001$). Asimismo, el tratamiento N° 6 presentó diferencias significativas respecto de los tratamientos N° 1, 4, 5 y 7, aunque las diferencias porcentuales en supervivencia disminuyeron hasta 23,7% (ver Figura 5 y Anexo A6 – A7).

Figura 5*Supervivencia por tratamiento*

Nota. En Mi Generala, (*) representan diferencias significativas con respecto al T6.

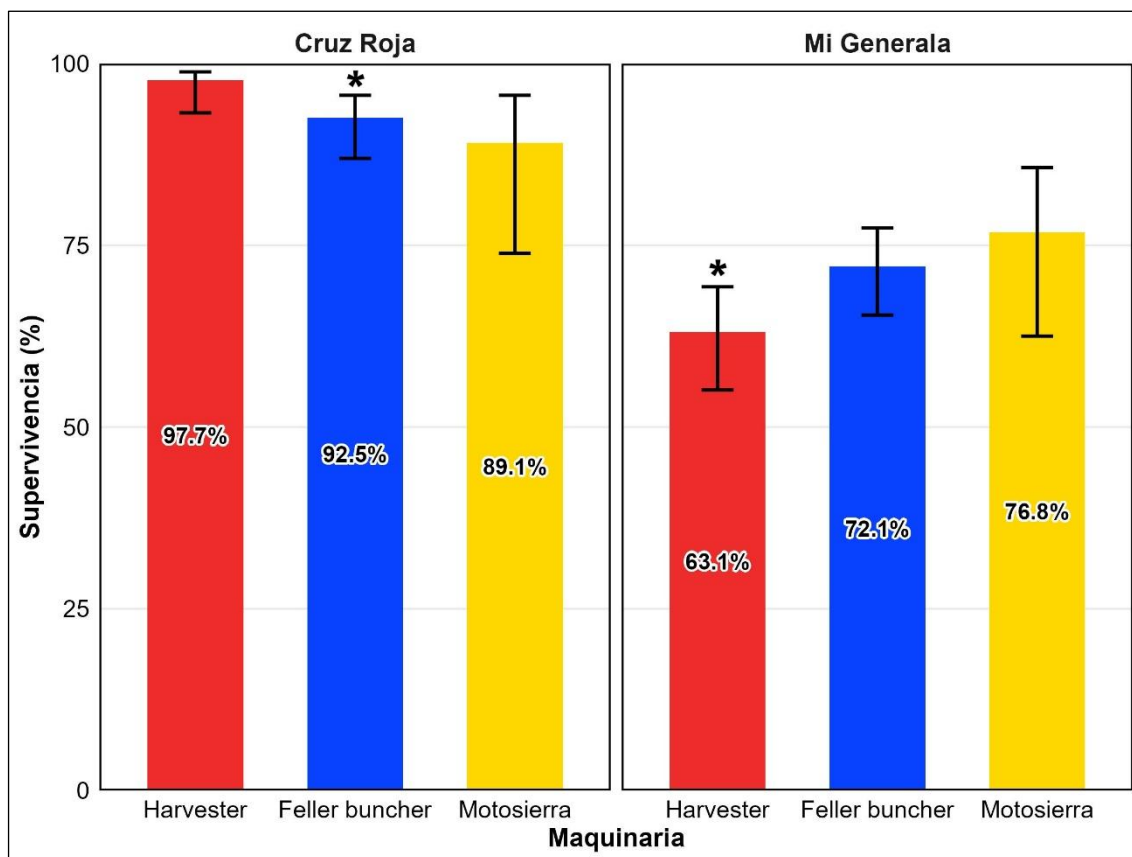
Con el objetivo de clarificar el efecto de cada factor, a continuación, se presentarán los resultados individuales correspondientes a cada uno de ellos.

4.1.3 Método de corta

Los resultados de la comparación entre pares arrojan que, para ambos ensayos, el método de corta afectó significativamente los valores de supervivencia (Figura 5). En Cruz Roja, el uso de harvester alcanzó la mayor supervivencia, con un 97,7%, seguido por feller buncher, con 92,5%, y la motosierra, 89,1%, registrándose diferencias significativas entre harvester y el feller buncher ($p=0,0270$). Por otro lado, en Mi Generala, se observó un patrón inverso, donde la motosierra presentó los mayores valores de supervivencia, 76,8%, seguida por feller buncher, 72,1%, y harvester, 63,1%, con diferencias significativas entre harvester y motosierra ($p = 0,0480$) (ver Figura 6 y Anexo A8 – A9).

Figura 6

Supervivencia de Eucalyptus dunnii en función del método de corta



Nota. En Cruz Roja, (*) representa diferencias significativas ($p=0.0270$) con respecto al Harvester. En Mi Generala, (*) representa diferencias significativas ($p=0.0480$) con respecto a la Motosierra.

Si bien la supervivencia de cepas sometidas al corte con motosierra fue de 8,6% inferior a la observada con harvester, dicha diferencia no resultó estadísticamente significativa. Este resultado puede atribuirse, en parte, a la estructura experimental utilizada. El tratamiento cosechado con harvester estuvo representado por cuatro parcelas experimentales, mientras que el tratamiento cosechado con motosierra contó con una única parcela. Como consecuencia, la estimación de la variabilidad asociada al tratamiento con motosierra presentó una menor precisión, reflejándose en intervalos de confianza más amplios. Esto redujo la potencia estadística de la comparación entre medias y aumentó la dificultad para detectar diferencias significativas entre tratamientos, aun cuando existan diferencias numéricas relevantes en los valores observados. Por lo tanto, la ausencia de significancia estadística no implica necesariamente que ambos métodos de cosecha produzcan respuestas equivalentes, sino que las limitaciones asociadas al nivel de replicación experimental restringen la capacidad del análisis para evidenciar dichas diferencias.

Mencionado lo anterior, surge la interrogante de por qué en Mi Generala sí se detectaron diferencias significativas entre el harvester y la motosierra, considerando que ambos tratamientos presentaban el mismo desbalance en cuanto al número de parcelas experimentales. En este caso, la supervivencia observada en las cepas cosechadas con motosierra fue 13,7% superior a la obtenida con harvester. A pesar de las limitaciones asociadas a la menor replicación del tratamiento con motosierra, la magnitud de la diferencia observada fue suficientemente amplia para superar la variabilidad estimada por el modelo estadístico. En consecuencia, el efecto del método de cosecha pudo ser detectado estadísticamente.

En cuanto a la discusión de los resultados asociados al método de corta, diversas investigaciones sugieren que el método de corta determina la magnitud del daño mecánico sobre el tocón. En este sentido, Gasparri (2019) señala que el uso de harvester permite realizar cortes más limpios y uniformes, con menor desgarramiento de fibras, lo que reduce el daño al tejido basal y favorece la preservación de yemas viables debajo de la corteza, aumentando así la probabilidad de obtener una brotación homogénea. De acuerdo con estas declaraciones, en Cruz Roja, los cortes con harvester presentaron escasos daños a escala visual y mayores porcentajes de supervivencia en comparación con el uso de feller buncher. Este último suele generar un impacto mayor debido a la naturaleza del corte, produciendo superficies más rugosas con mayor grado de daño, lo que podría explicar su posición intermedia en términos de supervivencia (ver Anexo A10 – A11). Por su parte, la motosierra, al tratarse de una herramienta manual, puede generar una mayor variabilidad en la calidad del corte, provocando daños mecánicos localizados, como son las rajaduras basales causadas al momento del apeo del árbol; condición que podría reducir la preservación de tejido basal y disminuir la supervivencia, lo que se reflejó en Cruz Roja, donde la motosierra presentó los valores más bajos comparada con el resto de las máquinas. Sin embargo, cabe aclarar que la motosierra ocasiona menor daño en el tocón en comparación con el feller buncher.

En Mi Generala, los valores de supervivencia fueron inferiores a los registrados en Cruz Roja, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Hakamada et al. (2022), quienes evaluaron distintos métodos de cosecha en rodales de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Dichos autores observaron que la cosecha realizada con motosierra alcanzó mayores niveles de supervivencia en comparación con el uso de feller buncher. Sin embargo, no debe dejarse de lado el efecto de las condiciones climáticas al momento de la cosecha, ya que estas pueden atenuar e incluso invertir

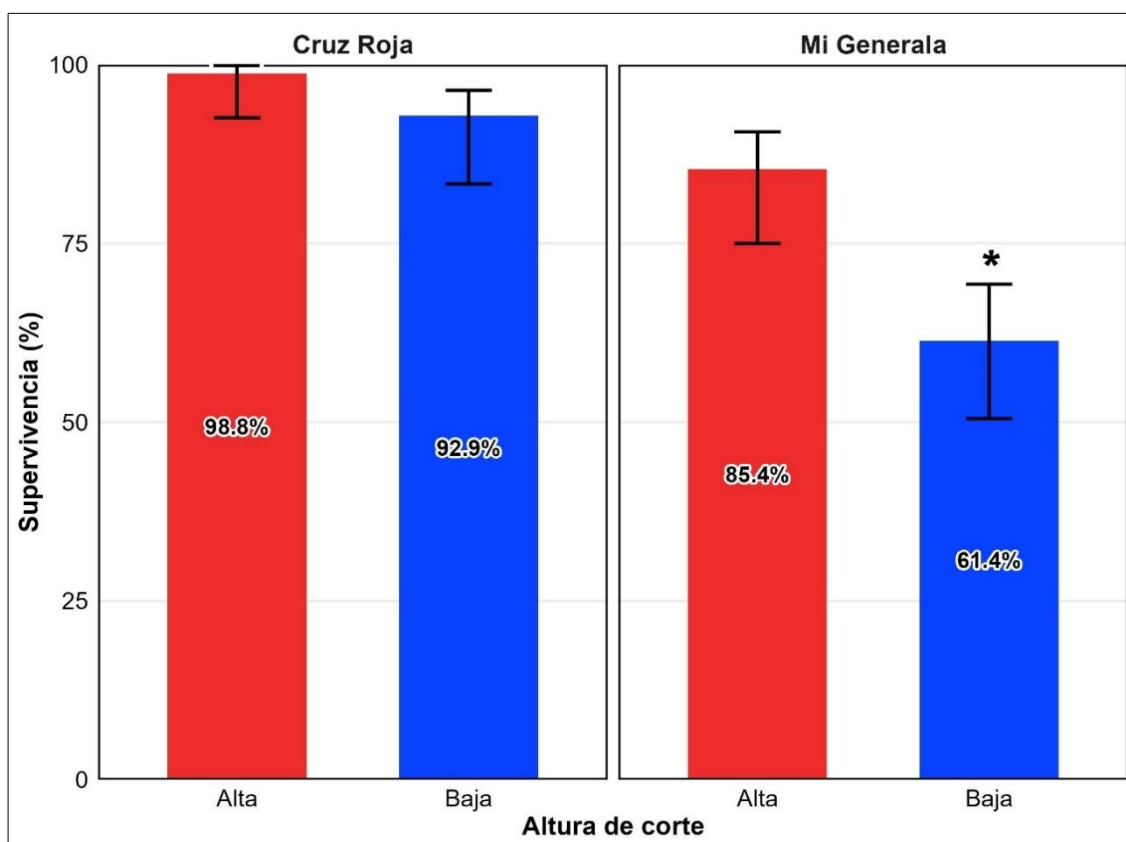
los beneficios asociados a determinados equipos (Balloni, 1978, como se cita en Zen, 1987; Camargo et al., 1997).

4.1.4 Altura de corte

En Cruz Roja se registraron altos porcentajes de supervivencia para ambas alturas, con un valor promedio de 98,8% para el corte alto y 92,9% para el corte bajo. Pese a ello, este diferencial no resultó estadísticamente significativo, aunque el valor de p fue cercano al nivel de significancia ($p = 0,0560$). Por otra parte, en Mi Generala sí se evidenció un marcado efecto de la altura de corte, donde el corte alto alcanzó un porcentaje de supervivencia del 85,4%, mientras que el corte bajo registró un 61,4%. Este contraste representó una reducción del 24% en la supervivencia y se tradujo en diferencias estadísticamente significativas entre alturas ($p < 0,0001$) (ver Figura 7 y Anexo A12 – A13).

Figura 7

Supervivencia de Eucalyptus dunnii en función de la altura de corte



Nota. En Mi Generala, (*) representa diferencias significativas ($p < 0.0001$) con respecto a la altura de corte alta.

Si bien las respuestas pueden variar de una especie a otra, la mayor supervivencia obtenida en cepas de mayor altura puede explicarse por una

combinación de factores fisiológicos, anatómicos y ambientales que favorecen el proceso de brotación.

En primer lugar, se ha comprobado que los tocones más altos conservan una mayor proporción del tejido basal del fuste, donde se concentra una gran cantidad de yemas latentes y epicórmicas con capacidad de activarse luego de la cosecha. Esto hace que incremente la probabilidad de emisión de brotes y reduzca el riesgo de falla en la regeneración vegetativa (Balloni, 1978, como se cita en Zen, 1987; Ferrari et al., 2004). Asimismo, la altura del tocón está estrechamente relacionada con la disponibilidad de reservas. Los tejidos remanentes en tocones más altos suelen presentar mayores concentraciones de carbohidratos no estructurales y nutrientes almacenados, los cuales resultan esenciales durante las primeras etapas de brotación, cuando los brotes emergentes dependen exclusivamente de las reservas del tocón y del sistema radical. Por ende, un mayor volumen de tejido vivo remanente permite sostener el crecimiento inicial de los brotes, mejorar su vigor y aumentar su probabilidad de supervivencia (Camargo et al., 1997; Ferrari et al., 2004). Otro aspecto relevante es la interacción del tocón con su ambiente inmediato. Los cortes de mayor altura reducen la exposición del tocón a condiciones edáficas desfavorables, tales como mayor humedad, fluctuaciones térmicas más marcadas y la presión ejercida por microorganismos descomponedores. En consecuencia, se genera un ambiente más estable que favorece el desarrollo de los rebrotes, especialmente durante los primeros meses posteriores a la cosecha (Shackleton, 2000).

Considerando los resultados obtenidos en este estudio, la ausencia de diferencias significativas en Cruz Roja sugiere que, bajo condiciones ambientales favorables luego del apeo (febrero), incluso los tocones de menor altura logran acceder a los recursos necesarios para sostener elevados niveles de supervivencia. En cambio, en Mi Generala, donde la supervivencia general fue menor, la ventaja fisiológica y estructural de los tocones más altos se manifestó de manera más evidente, traduciéndose en diferencias significativas entre alturas. Este comportamiento concuerda con lo reportado en la bibliografía, donde se indica que el efecto de la altura de corte tiende a intensificarse bajo condiciones más restrictivas o estresantes para el rebrote (Balloni, 1978, como se cita en Zen, 1987; Shackleton, 2000).

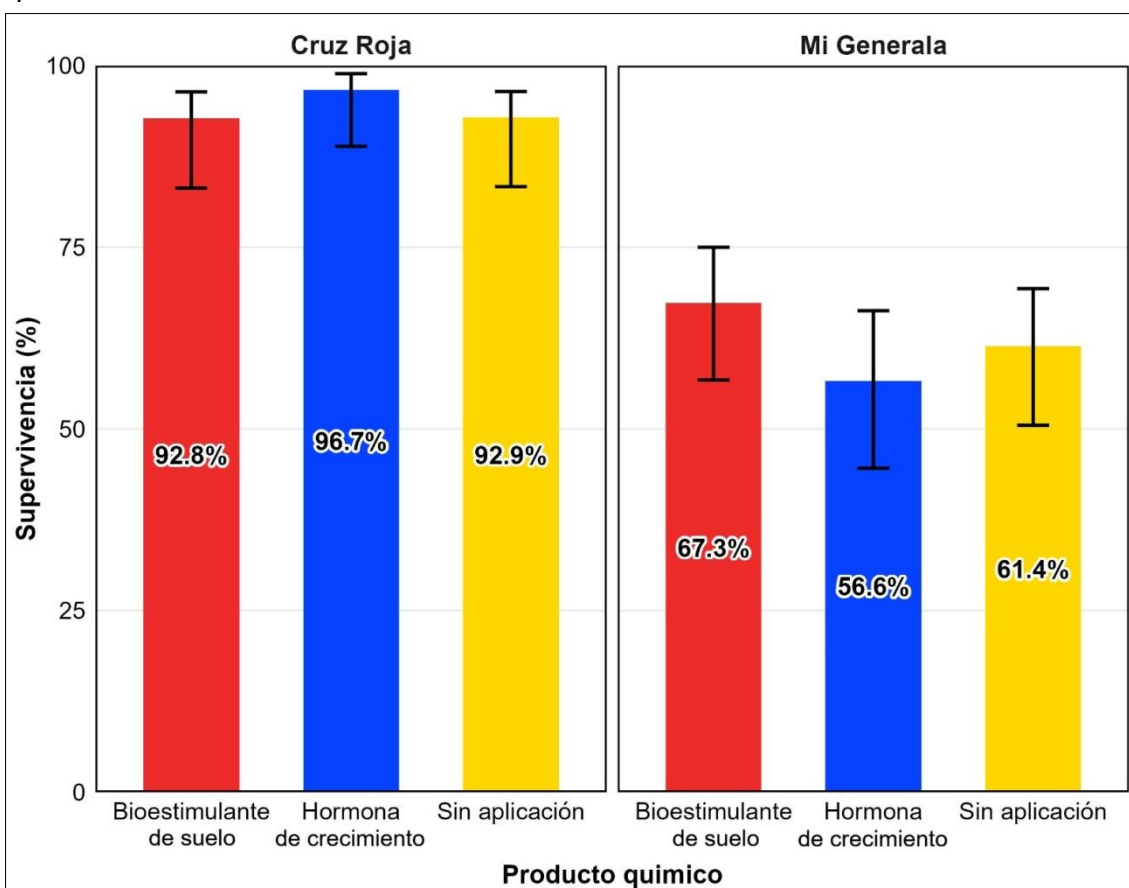
4.1.5 Aplicación de producto químico

En Cruz Roja, los porcentajes de supervivencia fueron elevados en todos los niveles correspondientes a la aplicación de producto químico, con valores que

superaron el 90%; destacándose la aplicación de producto hormonal con 96,7%, seguida por la no aplicación con 92,9% y el bioestimulante con 92,8%, sin detectarse diferencias estadísticamente significativas ($p=0,2510$ y $p=0,2620$). En el caso de Mi Generala, la supervivencia fue considerablemente menor, donde el bioestimulante alcanzó el mayor valor promedio con 67,3%, la no aplicación registró un valor intermedio de 61,4% y el producto hormonal presentó la menor supervivencia con 56,6%. Sin embargo, al igual que en Cruz Roja, no se observaron diferencias significativas, aunque si se evidenció una mayor dispersión de los datos ($p=0,3760$ y $p=0,1360$) (ver Figura 8 y Anexo A14 – A15).

Figura 8

Supervivencia de cepas de Eucalyptus dunnii en función de la aplicación de producto químico



La bibliografía indica que el efecto de las aplicaciones químicas sobre la superficie del tocón suele ser limitado y dependiente del ambiente (Balloni, 1978, como se cita en Zen, 1987; Camargo et al., 1997; Close & Beadle, 2003). Si bien los productos hormonales o bioestimulante pueden favorecer procesos fisiológicos asociados a la activación de yemas y su crecimiento inicial, sus efectos se manifiestan con mayor claridad bajo condiciones de estrés o cuando la capacidad de rebrote se

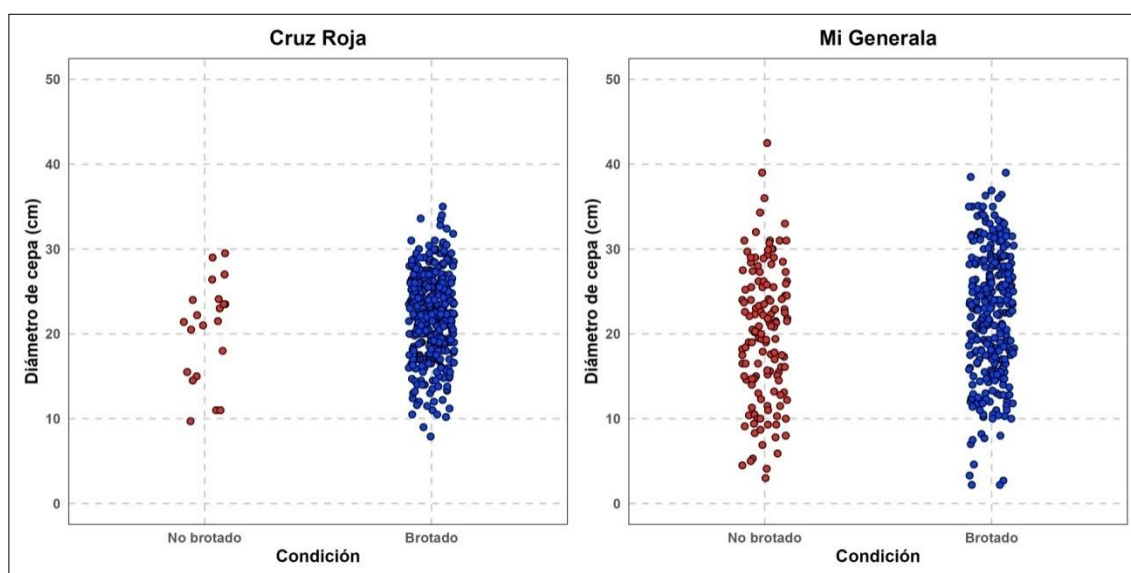
encuentra condicionada (du Jardin, 2015; Freitag, 2013). En el presente estudio, la aplicación de bioestimulante y productos hormonales no produjo diferencias significativas en la supervivencia del rebrote, particularmente en Mi Generala, donde, bajo condiciones ambientales estresantes, el efecto del ambiente predominó sobre el aporte externo de insumos. Estos resultados refuerzan la teoría de que la respuesta a aplicaciones químicas sobre el tocón en *Eucalyptus* es secundaria frente a factores climáticos y temporales asociados al momento de la cosecha (Shackleton, 2000).

4.1.6 Diámetro de cepa

Se ajustó un modelo logístico clásico por sitio para evaluar el efecto del diámetro del tocón sobre la probabilidad de supervivencia. En Cruz Roja, el coeficiente asociado al diámetro fue positivo ($\beta_1 = 0.062 \pm 0.043$), con un odds ratio de 1.064 (IC 95%: 0.977–1.129); no obstante, el efecto no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.157$). En Mi Generala, el coeficiente del diámetro también fue positivo ($\beta_1 = 0.041 \pm 0.014$), con un odds ratio de 1.042 (IC 95%: 1.014–1.073), y el efecto sí resultó estadísticamente significativo ($p = 0.0027$) (Figura 9 y Anexo A16 – A17).

Figura 9

Distribución del diámetro de cepa en función de la condición del rebrote



Los resultados obtenidos en Cruz Roja coinciden con los reportados por Luz et al. (2018) y Benedito y de Freitas (2022), quienes señalaron que el diámetro de cepa no afectó significativamente el número de brotes en especies de *Eucalyptus* spp., variable que posteriormente incide en el porcentaje final de supervivencia. En este caso, la ausencia de significancia estadística podría atribuirse a que las condiciones ambientales posteriores a la cosecha fueron favorables, lo que permitió que tocones de menor diámetro rebrotaran en proporciones similares a los de mayor tamaño,

elevando los porcentajes generales de supervivencia (>90%). Esta situación redujo la variabilidad de la respuesta y, en consecuencia, limitó la capacidad del modelo para detectar efectos adicionales asociados al diámetro de cepa. Asimismo, cuanto más homogéneo sea el rodal original en términos de clases diamétricas, mayor será la probabilidad de obtener un tallar exitoso en términos de supervivencia (J. Cabris, comunicación personal, 8 de junio, 2020), tal como se observó en Cruz Roja. Ambos grupos se concentraron mayoritariamente en un rango estrecho de diámetros (15–30 cm), sin presencia de clases extremas que permitieran discriminar respuestas contrastantes (Tabla 7)

Tabla 7

Distribución de cepas por clases diamétricas en Cruz Roja

No brotados				Brotados			
Clase diamétrica (cm)	N (cepas)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)	Clase diamétrica (cm)	N (cepas)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)
5 - 10	1	5	5	5 - 10	2	1	1
10 - 15	3	14	19	10 - 15	30	8	9
15 - 20	3	14	33	15 - 20	82	23	32
20 - 25	10	48	81	20 - 25	132	36	68
25 - 30	4	19	100	25 - 30	101	28	96
30 - 35	-	-	-	30 - 35	15	1	100
35 - 40	-	-	-	35 - 40	1	0	100
Total	21	100	-	Total	363	100	-

Nota. A la izquierda no brotados, a la derecha brotados.

Con respecto a Mi Generala, los resultados discrepan por completo de los reportados previamente por Luz et al. (2018) y Benedito y de Freitas (2022), dado que en este caso sí se logró evidenciar un efecto significativo del diámetro en la brotación de las cepas; no obstante, asimismo discrepan con el supuesto planteado por Benedito y de Freitas (2022), según el cual diámetros de mayor tamaño influyen en la altura del brote dominante, dado que en este ensayo los brotes no expresaron un crecimiento suficiente como para ser diferenciados y mensurados. Uno de los motivos por el cual se puede haber encontrado diferencias significativas es por la mayor amplitud diamétrica en comparación con Cruz Roja, que osciló entre 2,2 y 42,5 cm. La distribución por clases diamétricas evidenció diferencias estructurales claras entre cepas brotadas y no brotadas. Mientras que las cepas no brotadas se concentraron mayormente en clases diamétricas bajas e intermedias, con un 47% de los individuos

por debajo de los 20 cm y un 72% por debajo de los 25 cm, las cepas brotadas mostraron un desplazamiento de la distribución hacia diámetros mayores, concentrando el 83% de los individuos entre 15 y 30 cm. Este desplazamiento redujo el solapamiento entre ambas distribuciones y generó un gradiente positivo entre el diámetro de cepa y la probabilidad de brotación, lo que explica las diferencias significativas observadas. Los resultados sugieren que, bajo condiciones ambientales más restrictivas, el diámetro de cepa actúa como un factor funcional determinante para el rebrote y la posterior supervivencia (Tabla 8).

Tabla 8

Distribución de cepas por clases diamétricas en Mi Generala

No brotados				Brotados			
Clase diamétrica (cm)	N (cepas)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)	Clase diamétrica (cm)	N (cepas)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)
0 – 5	3	2	2	0 – 5	5	2	2
5 - 10	12	9	11	5 - 10	5	2	4
10 – 15	21	15	26	10 – 15	42	14	18
15 - 20	28	21	47	15 - 20	63	21	39
20 – 25	34	25	72	20 – 25	65	21	60
25 - 30	24	18	90	25 - 30	71	23	83
30 – 35	11	8	98	30 – 35	42	14	97
35 – 40	2	1	99	35 – 40	11	3	100
40 – 45	1	1	100	40 – 45	-	-	-
Total	136	100	-	Total	304	100	-

Nota. A la izquierda no brotados, a la derecha brotados.

5. CONCLUSIONES

Dado que la evaluación de supervivencia se llevó a cabo durante un único año mediante un ensayo de corto plazo, los resultados obtenidos deben interpretarse con cautela, puesto que reflejan las condiciones particulares del período de estudio, determinadas por la interacción entre la especie, el sitio y la estación de apeo.

En términos generales, los resultados evidenciaron que la estación climática en la que se realizó el apeo fue uno de los factores con mayor incidencia sobre el proceso de brotación y la posterior supervivencia de las cepas.

En Cruz Roja, el método de corte fue el único factor que evidenció respuestas diferenciadas, destacándose el uso de harvester. La altura de corte mostró una leve tendencia favorable hacia mayores alturas, aunque sin alcanzar la significancia estadística. Asimismo, la aplicación de productos químicos (bioestimulante de suelo y regulador de crecimiento) y el diámetro de la cepa no evidenciaron efectos significativos. En cambio, en Mi Generala, el método y la altura de corte, y el diámetro de las cepas mostraron una mayor incidencia sobre el porcentaje de supervivencia. En este sitio, el uso de motosierra y feller buncher, las mayores alturas de corte y los mayores diámetros de cepa se asociaron con un mejor desempeño en términos de supervivencia. Por su parte, y en concordancia con lo observado en Cruz Roja, la aplicación de productos químicos no presentó efectos significativos.

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda programar las operaciones de cosecha para las estaciones de mayor temperatura, con el fin de minimizar la exposición de los brotes a eventos de heladas, al menos durante las etapas iniciales de desarrollo y crecimiento. Asimismo, se debe priorizar el uso del harvester como método de apeo y promover mayores alturas de corte. Sin embargo, esta última práctica (cortes a mayor altura) debe considerarse con ciertas precauciones, dadas las pérdidas volumétricas asociadas a la porción basal del fuste que permanece en campo, así como las potenciales dificultades operativas que los tocones de mayor altura podrían generar tanto para el desplazamiento de la maquinaria como para la ejecución de futuras operaciones dentro del rodal.

Finalmente, es conveniente continuar investigando sobre la dinámica del rebrote de *Eucalyptus* spp., con el propósito de contribuir a la escasa información disponible sobre la temática en Uruguay y corroborar la consistencia de los resultados obtenidos en este trabajo. Para ello, se sugiere simplificar la estructura de los tratamientos e investigar los distintos factores de forma independiente; por ejemplo, evaluar la supervivencia de *E. dunnii* en función de la estación de apeo con

independencia del método de corte, o bien evaluar el efecto del método de corte manteniendo constante la estación de apeo. En el mismo sentido, resultaría valioso evaluar de forma aislada los diferentes cortes en altura. Estos enfoques permitirían reducir posibles fuentes de variación experimental, mejorar la precisión de las estimaciones y facilitar la interpretación de los efectos asociados a cada factor evaluado.

6. REFERENCIAS

- A stable and ergonomic powerhouse*. (2019). PONSSE ERGO.
<https://www.randalls.com.au/wp-content/uploads/2020/01/Ergo.pdf>
- Annunziatto, W., Petraglia, C., & Tommasino, H. (2016). Los suelos de prioridad forestal y su productividad. En *Anuario OPYPA 2016* (pp. 527-532). MGAP.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/suelos-prioridad-forestal-su-productividad>
- Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. (2019). *Australian forest profiles: Eucalypt*. Australian Government.
https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/abares/forestsaustralia/publishingimages/forest%20profiles%202019/eucalypt/AusForProf_2019_Eucalypt_v.1.0.0.pdf
- Barahona Olmos, G. L. (2005). *Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de Eucalyptus globulus proveniente de monte alto y monte bajo* [Trabajo final de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/105057/barahona_g.pdf?sequence
- Benedito, D. C. D., & de Freitas, L. C. D. (2022). Influence of the stump diameter and height on the growth and vigor of eucalyptus sprouts. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 52, Artículo e70048. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5270048>
- Bio Plus 3*. (s.f.). BioGro. <https://biogro.com.uy/es/bioplus-3/>
- Blum, B. M. (1963). *Excessive exposure stimulates epicormic branching in young northern hardwoods*. U.S. Forest Service.
<https://dn790007.ca.archive.org/0/items/excessiveexposur09blum/excessiveexp09blum.pdf>
- Brussa, C. A. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.
- Butnor, J. R., Johnsen, K. H., Anderson, P. H., Hall, K. B., Halman, J. M., Hawley, G. J., Maier, C. A., & Schaberg, P. G. (2019). Growth, photosynthesis, and cold tolerance of *Eucalyptus benthamii* planted in the piedmont of North Carolina. *Forest Science*, 65(1), 59-67.

- Camargo, F. R., Silva, C. R., & Stape, J. L. (1997). Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. *Série Técnica IPEF*, 11(30), 115-122. <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr30/cap11.pdf>
- Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social. (2023). *La producción forestal en Uruguay: Un sector líder y sostenible*. https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1699454667.pdf
- Cline, M. G., & Dong-IL, K. (2002). A preliminary investigation of the role of auxin and cytokinin in sylleptic branching of three hybrid poplar clones exhibiting contrasting degrees of sylleptic branching. *Annals of Botany*, 90(3), 417-421. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf195>
- Close, D. C., & Beadle, C. L. (2003). The ecophysiology of foliar anthocyanin. *The Botanical Review*, 69(2), 149-161. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2003\)069%5B0149:TEOFA%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2003)069%5B0149:TEOFA%5D2.0.CO;2)
- Cole, D. W. (1983). Redwood sprout growth three decades after thinning. *Journal of Forestry*, 81(3), 148-157. <https://doi.org/10.1093/jof/81.3.148>
- Colin, F., Mechergui, R., Dhôte, J.-F., & Fontaine, F. (2010). Epicormic ontogeny on *Quercus petraea* trunks and thinning effects quantified with the epicormic composition. *Annals of Forest Science*, 67, Artículo e813. <https://doi.org/10.1051/forest/2010049>
- Colin, F., Robert, N., Druelle, J. L., & Fontaine, F. (2008). Initial spacing has little influence on transient epicormic shoots in a 20-year-old sessile oak plantation. *Annals of Forest Science*, 65(5), Artículo e508. <https://doi.org/10.1051/forest:2008032>
- Davies, P. J. (2004). *Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action*. Kluwer.
- de Faria, G. E., de Barros, N. F., Novais, R. F., Lima, J. C., & Teixeira, J. L. (2002). Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore*, 26(5), 577-584.
- de Souza, F. C., dos Reis, G. G., Reis, M. das G. F., Leite, H. G., Alves, F. de F., de Faria, R. S., & Pereira, M. M. (2012). Sobrevivência e diâmetro de plantas intactas e brotações de clones de eucalipto. *Floresta e Ambiente*, 19(1), 44-54. <https://www.floram.org/article/10.4322/floram.2012.006/pdf/floram-19-1-44.pdf>

- Deal, R. L., Barbour, R. J., McClellan, M. H., & Parry, D. L. (2003). Development of epicormic sprouts in *Sitka spruce* following thinning and pruning in south-east Alaska. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 76(4), 401-412. <https://doi.org/10.1093/forestry/76.4.401>
- Dirección General Forestal. (2025). *Resultados de la Cartografía Forestal Nacional 2024*. MGAP. [https://descargas.mgap.gub.uy/Documentos%20compartidos/CA RTOGRAFIA%202024/Informe%20de%20resultados%202025.pdf](https://descargas.mgap.gub.uy/Documentos%20compartidos/CA%20RTOGRAFIA%202024/Informe%20de%20resultados%202025.pdf)
- Doldán, J., Fariña, I., & Tarigo, F. (2008). Utilización de *Eucalyptus spp.* alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft. *INNOTEC*, (3), 30-34. <https://n9.cl/wpmwpi>
- dos Reis, G. G., & Reis, M. G. F. (1997). Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. *Série Técnica IPEF*, 11(30), 9-22.
- Downes, S. J., Handasyde, K. A., & Elgar, M. A. (1997). The use of corridors by mammals in fragmented Australian eucalypt forests. *Conservation Biology*, 11(3), 718-726. <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1523-1739.1997.96094.x>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Durán, A. (Coord.). (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay* [Mapa]. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/1619_carta_de_reconocimiento_de_suelos_del_uruguay_1.1.000.000_imprimir_a0_0.pdf
- Echeverria, M., Scambato, A. A., Sannazzaro, A. I., Maiale, S., Ruiz, O. A., & Menéndez, A. B. (2008). Phenotypic plasticity with respect to salt stress response by *Lotus glaber*: The role of its AM fungal and rhizobial symbionts. *Mycorrhiza*, 18(6-7), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0184-3>
- Erdmann, G. G., Peterson, R. M., Jr., & Oberg, R. R. (1985). Crown releasing of red maple poles to shorten high-quality sawlog rotations. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(4), 694-700. <https://doi.org/10.1139/x85-113>
- Evans, J. (1992). Coppice forestry: An overview. En G. P. Buckley (Ed.), *Ecology and management of coppice woodlands* (pp. 18-27). Chapman y Hall.
- Ferrari, M. P., Ferreira, C. A., & da Silva, H. D. (2004). *Condução de plantios de Eucalyptus em sistema de talhadia*. Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/302637/1/doc104.pdf>

- Freitag, A. S. (2013). *Crescimento de brotações de um clone de Eucalyptus urophylla × Eucalyptus grandis em função da disponibilidade de nutrientes no solo e da aplicação de fitorreguladores na cepa* [Disertación doctoral, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP.
<https://pdfs.semanticscholar.org/9b1b/515ec0ea6ce70533a850eefbc7b735846b67.pdf>
- Gasparri, M. del P. (2019). *Modelo predictivo de supervivencia de cepas de Eucalyptus globulus y evaluación financiera para diferentes alternativas de manejo* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/29256>
- Google. (2025a). [Alejandro Gallinal, Florida, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 14 de abril de 2025, de <https://surl.lt/vknorz>
- Google. (2025b). [Predio forestal “Cruz Roja”, Florida, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 14 de abril de 2025, de <https://surl.li/ujjpnf>
- Google. (2025c). [Predio forestal “Mi Generala”, Florida, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 14 de abril de 2025, de <https://surl.li/cclgov>
- Graciano, C., Goya, J. F., Frangi, J. L., & Guiamet, J. J. (2006). Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management*, 236(2-3), 202-210.
- Guzman, P., Gil, L., & Tadesse, W. (2013). Variation in growth traits and survival of landraces of *Eucalyptus globulus* Labill. in the Ethiopian highlands. *Forest Systems*, 22(3), 401-407.
<https://fs.revistas.csic.es/index.php/fs/article/view/4130/1940>
- HaifaStim™ Force. (s.f.). Haifa Group. <https://www.haifa-group.com/haifastim-force>
- Hakamada, R., da Silva, R. M. L., Moreira, G. G., Teixeira, J. D. S., Takahashi, S., Masson, M. V., Ferreira, K. Z., Fernandes, P. G., & Martins, S. D. S. (2022). Growth and canopy traits affected by myrtle rust (*Austropuccinia psidii* Winter) in *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*. *Forest Pathology*, 52(3), Artículo e12736. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/efp.12736>
- Harmer, R. (1989). The effect of mineral nutrients on growth, flushing, apical dominance and branching in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Forestry*, 62(4), 383-395. <https://doi.org/10.1093/forestry/62.4.383>
- Herman, F. R. (1964). *Epicormic branching of Sitka spruce*. U.S. Forest Service.

HUSQVARNA 135 Mark II. (s.f.). Husqvarna.

<https://www.husqvarna.com/uy/motosierras/135-mark-ii/>

Infraestructura de Datos Espaciales. (s.f.). *Curvas de nivel* [Conjunto de datos].

<https://catalogodatos.gub.uy/dataset/ide-curvas-de-nivel>

Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.

<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>

Instituto Uruguayo de Meteorología. (2025a). Invierno 2025. *Boletín Climático*

Estacional, (3). [https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-09/Boletin%20INVIERNO_2025.pdf)

[09/Boletin%20INVIERNO_2025.pdf](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-09/Boletin%20INVIERNO_2025.pdf)

Instituto Uruguayo de Meteorología. (2025b). Otoño 2025. *Boletín Climático Estacional*,

(2). [https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-06/Boletin%20OTO%20C3%91O.pdf)

[06/Boletin%20OTO%20C3%91O.pdf](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-06/Boletin%20OTO%20C3%91O.pdf)

Jarman, R., & Kofman, P. D. (2018). Coppice in brief. En A. Unrau, G. Becker, R.

Spinelli, D. Lazdina, N. Magagnotti, V.-N. Nicolescu, P. Buckley, D. Bartlett, &

P. D. Kofman (Eds.), *Coppice forests in Europe* (pp. 22-28). Albert Ludwig

University of Freiburg. [https://www.eurocoppice.uni-](https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/intern/coppiceineurope-volume/coppiceforestsineurope-1-2-jarmankofman-coppice-in-brief-sept2018.pdf)

[freiburg.de/intern/coppiceineurope-volume/coppiceforestsineurope-1-2-](https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/intern/coppiceineurope-volume/coppiceforestsineurope-1-2-jarmankofman-coppice-in-brief-sept2018.pdf)

[jarmankofman-coppice-in-brief-sept2018.pdf](https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/intern/coppiceineurope-volume/coppiceforestsineurope-1-2-jarmankofman-coppice-in-brief-sept2018.pdf)

Johnson, J. E., Miller, G. W., Baumgras, J. E., & West, C. D. (1998). Assessment of residual stand quality and regeneration following shelterwood cutting in central Appalachian hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry*, 15(4), 203-210.

<https://doi.org/10.1093/njaf/15.4.203>

Klein, J., Bortolas, E., de Assis, T. F., & Perrando, E. (1997). Fatores operacionais que afetam a regeneração do Eucalyptus manejado por talhadia. *Série Técnica IPEF*, 11(30), 95-104.

Kormanik, P. P., & Brown, C. L. (1969). *Origin and development of epicormic branches in sweetgum*. USDA Forest Service.

https://books.google.com.uy/books?id=b3CBeIr_7ZEC&printsec=frontcover&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Kozlowski, T. T., Kramer, P. J., & Pallardy, S. G. (1991). *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press.

Leopold, A. C., & Kriedemann, P. E. (1975). *Plant growth and development* (2nd ed.) McGraw-Hill.

- Little, C. H. A. (1970). Apical dominance in long shoots of white pine (*Pinus strobus*). *Canadian Journal of Botany*, 48(2), 239-253.
<https://doi.org/10.1139/b70-036>
- Los feller bunchers sobre ruedas de tigercat lideran la industria en productividad, confiabilidad y durabilidad.* (2022). Tigercat Internacional.
<https://www.tigercat.com/wp-content/uploads/2014/12/DTT-Feller-Bunchers-1.1ES-1218-hi-res.pdf>
- Luz, D. S., Freitas, L. C., Prates, C. J. N., & Barros, A. P. S. (2018). Influência da altura e diâmetro das cepas na rebrota de *Eucalyptus* spp. *Revista do Instituto Florestal*, 30(1), 47-51. <https://doi.org/10.24278/2178-5031.201830104>
- Matthews, J. D. (1994). *Silvicultural systems*. Oxford University Press.
- Meier, A. R., Saunders, M. R., & Michler, C. H. (2012). Epicormic buds in trees: A review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiology*, 32(5), 565-584. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps040>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2020). *Descripción de Grupos de Suelos CO.N.E.A.T.* https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEAT_0.pdf
- Miranda, G. A. (1998). Produtividade de povoamentos de eucalipto em regime de talhadia, em função da adubação parcelada, no Vale do Jequitinhonha – MG. *Revista Árvore*, 22(1), 51-59.
- New Products - John Deere K series wheeled feller bunchers.* (2018, 22 de febrero). Logging On. <https://www.loggingon.net/article/new-products-john-deere-k-series-wheeled-feller-bunchers>
- Nicolini, E., Chanson, B., & Bonne, F. (2001). Stem growth and epicormic branch formation in understory beech trees (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Botany*, 87(6), 737-750. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1398>
- O'Hara, K. L., & Berrill, J.-P. (2009). Epicormic sprout development in pruned coast redwood: Pruning severity, genotype, and sprouting characteristics. *Forest Annals of Forest Science*, 66(4), 409. <https://doi.org/10.1051/forest/2009015>
- O'Hara, K. L., York, R. A., & Heald, R. C. (2008). Effect of pruning severity and timing of treatment on epicormic sprout development in giant sequoia. *Forestry*, 81(1), 103-110. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm049>

- Ongaro, V., & Leyser, O. (2008). Hormonal control of shoot branching. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 67-74. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm134>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1981). *El eucalipto en la repoblación forestal* (2ª ed.). <https://www.fao.org/4/ac459s/ac459s.pdf>
- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3rd ed.). Elsevier.
- Paula Neto, F., Pereira, A. R., Brandi, R. M., & Paiva, H. N. (1982). Fatores que influem no desenvolvimento de brotações em povoamentos de eucaliptos. *Revista Árvore*, 6(2), 133-139.
- Peirano, D. E., & Domínguez, M. A. (2020). *Efecto del destape de cepas en el crecimiento y cantidad de rebrotes obtenidos en dos épocas de cosecha para la especie Eucalyptus grandis* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/40429>
- Private Forests Tasmania. (2021). *Managing coppice regeneration in eucalypt plantations*. https://pft.tas.gov.au/volumes/documents/Natural-eucalypt-regeneration/Managing_coppice_regeneration_in_eucalypt_plantations_V2_Dember2021.pdf
- Rasmussen, H. N., Veierskov, B., Hansen-Møller, J., & Nørbæk, R. (2010). 'Lateral control': Phytohormone relations in the conifer treetop and the short- and long-term effects of bud excision in *Abies nordmanniana*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29(3), 268-279. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9132-5>
- Segura, J. (2008). Citoquininas. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed., pp. 421-444). Mc Graw-Hill. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Shackleton, C. M. (2000). Stump size and the number of coppice shoots for selected savanna tree species. *South African Journal of Botany*, 66(2), 124-127. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31074-7](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31074-7)
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, P. M. S. (1997). *The practice of silviculture: Applied forest ecology* (9th ed.). Wiley.
- Smith, H. C. (1965). Effects of clearcut openings on quality of hardwood border trees. *Journal of Forestry*, 63(12), 933-937. <https://doi.org/10.1093/jof/63.12.933>

- Spiecker, H. (1991). *Controlling the diameter growth and the natural pruning of Sessile and Pedunculate oaks (Quercus petraea (MATT.) LIEBL. and Quercus robur L.)*. Selbstverlag der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg.
<https://n9.cl/bmw1b>
- Stape, J. L. (1997). Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. *Série Técnica IPEF*, 11(30), 51-62. <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr30/cap5.pdf>
- Stone, E. L., Jr., & Stone, M. H. (1943). Dormant buds in certain species of *Pinus*. *American Journal of Botany*, 30(5), 346-351. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1943.tb14769.x>
- Strong, T. F., & Zavitkovski, J. (1983). Effect of harvesting season on hybrid poplar coppicing. En E. A. Hansen (Ed.), *Intensive plantation culture: 12 years research* (pp. 54-57). U.S. Department of Agriculture.
https://www.google.com.uy/books/edition/Intensive_Plantation_Culture/kMC-m8WCJY8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=Effect+of+harvesting+season+on+hybrid+poplar+coppicing.&pg=PA54&printsec=frontcover
- Tadeo, F. R., & Gómez-Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. En J. Azcón-Bieto y M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed., pp. 577-597). McGraw-Hill Interamericana.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2007). *Fisiología vegetal*. Universitat Jaume I.
- Tamosiunas, M. (2011). Complejo forestal. En M. Vasallo (Ed.), *Dinámica y competencia intrasectorial en el agro Uruguay 2000-2010* (pp. 105-122). Universidad de la República.
- Tigercat disc saw and shear felling heads for virtually any felling application*. (2018). Tigercat International. <https://www.tigercat.com/wp-content/uploads/2021/09/FELLING-HEADS-ENG-2.0-1018-hi-res.pdf>
- Toval, G. (2010). Calidad de la madera de *Eucalyptus globulus* como materia prima para la industria pastero-papelera. *Boletín informativo CIDEU*, (8), 5-14.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3601620.pdf>
- Uruguay XXI. (s.f.). *Informe anual de comercio exterior de Uruguay - 2024*.
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-anual-de-comercio-exterior-de-uruguay-2024/>

Uruguay XXI. (2021). *Sector forestal Uruguay*.

<https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/a29771e03cc49e42fe516c01b0d271dc0fcf4cbe.pdf>

Vita, A. (1996). *Los tratamientos silviculturales*. Universidad de Chile.

Wignall, T. A., Browning, G., & Mackenzie, K. A. D. (1987). The physiology of epicormic bud emergence in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) responses to partial notch girdling in thinned and unthinned stands. *Forestry*, 60(1), 45-56.

<https://doi.org/10.1093/forestry/60.1.45>

Yokoi, S., & Yamaguchi, K. (1996). Origin of epicormic branches and effect of thinning on their development in *Quercus mongolica* var. *grosseserrata*. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 78(2), 169-174.

https://doi.org/10.11519/jjfs1953.78.2_169

Zen, S. (1987). Influência da altura de corte na brotação de *Eucalyptus* spp. *Série Técnica IPEF, Piracicaba*, 4(11), 30-32.

<https://www.ipef.br/publicacoes/tecnica/nr11/cap05.pdf>

7. ANEXOS

Figura A1

Croquis de distribución de las parcelas dentro del rodal



Nota. Los tratamientos T1, T2 y T6 se ubicaron hacia el norte.

Figura A2

Panorámica del ensayo a 135 días poscosecha — Cruz Roja



Nota. 94,5% de cepas de *E. dunnii* con brotes desarrollados (apeo en febrero).

Figura A3*Panorámica del ensayo a 135 días poscosecha — Mi Generala*

Nota. 68,9% de cepas de *E. dunnii* con brotes de escaso desarrollo (apeo en marzo).

Tabla A4*Supervivencia en Cruz Roja en función del tratamiento aplicado*

Bloque	Parcela/ Tratamiento	Supervivencia (%)	Supervivencia media (%)	IC inferior	IC superior
Cruz Roja	1	89,7		74,4	94,9
Cruz Roja	2	97,5		85	100
Cruz Roja	3	87,8		70,7	92,7
Cruz Roja	4	95,1		80,5	97,6
Cruz Roja	5	95,6		82,2	97,8
Cruz Roja	6	100	94,5	91,4	100
Cruz Roja	7	97,6		85,7	100
Cruz Roja	8	98		85,7	100
Cruz Roja	9	89,1		73,9	93,5

Tabla A5*Comparación de medias entre tratamientos respecto al mejor desempeño (Cruz Roja)*

Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
T6 vs T1	10,26	0.4880	
T6 vs T2	2,5	0.4370	
T6 vs T3	12,2	0.4730	
T6 vs T4	4,88	0.4670	
T6 vs T5	4,44	0.4620	
T6 vs T7	2,38	0.4640	
T6 vs T8	2,04	0.4550	
T6 vs T9	10,87	0.4780	

Nota. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla A6*Supervivencia en Mi Generala, con respecto al tratamiento aplicado*

Bloque	Parcela/ Tratamiento	Supervivencia (%)	Supervivencia Media (%)	IC inferior	IC superior
Mi Generala	1	63,5		49,2	73
Mi Generala	2	83,7		69,1	89,8
Mi Generala	3	82,4		68,6	90,2
Mi Generala	4	60		43,2	71,1
Mi Generala	5	57,9	69	39,5	71,1
Mi Generala	6	87,2		72,3	93,6
Mi Generala	7	52,8		37,7	64,2
Mi Generala	8	52,6		34,2	65,8
Mi Generala	9	76,8		62,5	85,7

Tabla A7*Comparación de medias entre tratamientos respecto al mejor desempeño (Mi Generala)*

Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
T6 vs T1	23,74	0.0040	**
T6 vs T2	3,56	0.5900	
T6 vs T3	4,88	0.5350	
T6 vs T4	27,23	<0.0001	***
T6 vs T5	29,34	0.0020	**
T6 vs T7	34,40	<0.0001	***
T6 vs T8	34,60	<0.0001	***
T6 vs T9	10,45	0.1430	

Tabla A8*Supervivencia en función del método de corta*

Cruz Roja			
Método de corta	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Harvester	97,74	93,22	98,87
Feller Buncher	92,54	86,96	95,65
Motosierra	89,13	73,91	95,65
Mi Generala			
Método de corta	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Harvester	63,12	55,17	69,32
Feller Buncher	72,19	65,43	77,45
Motosierra	76,85	62,54	85,72

Tabla A9*Resultados de comparación de medias entre niveles del método de corta respecto al mejor*

Cruz Roja			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Harvester vs Feller buncher	5,2	0.0270	**
Harvester vs Motosierra	8,61	0.0550	
Mi Generala			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Motosierra vs Feller buncher	4,66	0.4560	
Motosierra vs Harvester	13,73	0.0480	**

Figura A10

Estado de la cepa remanente poscorte con harvester



Nota. Fotografías de cepas aleatorias dentro de la parcela.

Figura A11

Estado de la cepa remanente poscorte con feller buncher



Nota. Fotografías de cepas aleatorias dentro de la parcela.

Tabla A12*Supervivencia en función de la altura de corte*

Cruz Roja			
Altura de corte	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Alta	98,77	92,59	100
Baja	92,83	83,32	96,42
Mi Generala			
Altura de corte	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Alta	85,47	75	90,62
Baja	61,46	50,49	69,30

Tabla A13*Resultados de comparación de medias entre niveles de altura de corte respecto a la mejor (alta)*

Cruz Roja			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Alta vs Baja	5,91	0.0560	
Mi Generala			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Alta vs Baja	24,03	2.2×10^{-30}	***

Tabla A14*Supervivencia en función de la aplicación de producto químico sobre la cepa*

Cruz Roja			
Aplicación	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Bioestimulante	92,77	83,13	96,39
Hormona	96,67	88,89	98,89
Sin aplicación	92,86	83,33	96,39
Mi Generala			
Aplicación	Supervivencia (%)	IC inferior	IC superior
Bioestimulante	67,31	56,73	75
Hormona	56,63	44,58	66,27
Sin aplicación	61,39	50,50	69,31

Tabla A15

Resultados de comparación de medias entre niveles del producto químico respecto al mejor

Cruz Roja			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Hormona vs Sin aplicación	3,81	0.2510	
Hormona vs Bioestimulante	3,9	0.2620	
Mi Generala			
Comparación	Diferencia (%)	p – valor	Significancia
Bioestimulante vs Hormona	10,68	0.1360	
Bioestimulante vs Sin aplicación	5,92	0.3760	

Tabla A16

Parámetros del modelo logístico clásico — Cruz Roja

Parámetros	Valores
β_0 (intercepto)	1.524 \pm 0.933
β_1 (diámetro)	0.062 \pm 0.044
Odds ratio	1.064 (IC: 0.977 – 1.129)
p – valor (diámetro)	0.157
AIC	164.9
n	384

Tabla A17

Parámetros del modelo logístico clásico — Mi Generala

Parámetros	Valores
β_0 (intercepto)	-0.074 \pm 0.306
β_1 (diámetro)	0.041 \pm 0.014
Odds ratio	1.044 (IC: 1.014 – 1.073)
p – valor (diámetro)	0.0027 **
AIC	539
n	440