



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Impacto de *Teratosphaeria nubilosa* en el crecimiento de *Eucalyptus globulus* (L.) en Uruguay

Mariana PINTOS TORRES

Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales

Junio 2023

**Impacto de *Teratosphaeria nubilosa* en
el crecimiento de *Eucalyptus globulus*
(L.) en Uruguay**

Mariana PINTOS TORRES

Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales

Junio 2023

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Sandra Alaniz (presidenta),
Rossana Reyna (vocal), Alejandro Olivera (vocal), el 14 de Junio de 2023.
Autora: Ing. Agr. Mariana Pintos. Director: Dr. Carlos A. Pérez. Codirectora:
Dra. Cecilia Rachid.

DEDICATORIA

A mi hijo Thiago, tú eres mi motor y por ti no he desistido.

Al Dr. Guillermo Pérez, quien me inició por este camino tortuoso, pero de grandes aprendizajes y desafíos.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigas Paola Molina, Carolina Jorge, Valentina Benítez y Patricia Basile y a mis compañeros de trabajo Luis Reina, Ludmila Profumo y Joaquina Farías, quienes me transmitieron sus conocimientos y vivencias de investigación, colaborando en mi formación como investigadora. Todos ustedes han sido parte de este trabajo, gracias por su apoyo incondicional.

A Gustavo Balmelli, por sus aportes en el trabajo.

A mis tutores Cecilia y Carlos, les agradezco por todos sus aportes y sugerencias académicas para mejorar mi formación.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. <u>Eucalyptus globulus (L.) EN URUGUAY: A 16 AÑOS DE LA PRIMERA DETECCIÓN DE <i>Teratosphaeria nubilosa</i> (TLD)</u>	4
2.1. RESUMEN	5
2.2. SUMMARY	6
2.3. RESUMO	7
2.4. INTRODUCCIÓN	8
2.5. IMPORTANCIA DE LA FORESTACIÓN EN URUGUAY	8
2.6. IMPORTANCIA DEL GÉNERO <i>EUCALYPTUS</i> EN URUGUAY .10	
2.6.1. <u>Importancia de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. en Uruguay</u> . 11	
2.6.1.1. Características de <i>E. globulus</i> (L.)	11
2.6.1.2. Evolución de áreas plantadas	12
2.7. EFECTO DE LAS ENFERMEDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE EUCALIPTO	15
2.7.1. <u>Principales enfermedades del eucalipto en Uruguay</u>	15
2.7.2. <u>Mancha causada por <i>Teratosphaeria nubilosa</i></u>	16
2.7.2.1. Características del patógeno	16
2.6.2.2. Origen y distribución global de <i>T. nubilosa</i>	17

2.7.2.3. Daños en su centro de origen y en países de introducción	18
2.8. DAÑOS POR <i>Teratosphaeria nubilosa</i> EN URUGUAY	19
2.8.1. <u>Alternativas de manejo de <i>Teratosphaeria nubilosa</i> en Uruguay</u>	20
2.8.1.1. Control cultural	20
2.8.1.2. Control químico	22
2.8.1.3. Mejoramiento genético	22
2.9. CONSIDERACIONES FINALES	24
2.10. BIBLIOGRAFÍA	25
3. <u>ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE <i>Teratosphaeria nubilosa</i> SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE PLANTACIONES COMERCIALES DE <i>Eucalyptus globulus</i> (L.)</u>	39
3.1. RESUMEN	40
3.2. SUMMARY	41
3.3. RESUMO	43
3.4. INTRODUCCIÓN	45
3.5. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.5.1. <u>Caracterización del área de estudio</u>	48
3.5.2. <u>Colecta de datos para determinación de crecimiento a la edad de 7 años</u>	51
3.5.3. <u>Cálculo y desarrollo de variables</u>	52
3.5.4. <u>Modelación y desarrollo de ecuaciones</u>	55
3.5.4.1. Modelación de DAP y H	55
3.5.4.2. Modelación de volumen/ha	56
3.5.4.3. Metodología usada para el ajuste de ecuaciones de DAP, H y volumen	57

3.5.5. <u>DAP y Volumen estimado sin daño de copa y análisis comparativo</u>	61
3.6. RESULTADOS	61
3.6.1. <u>Caracterización estadística de variables explicativas</u>	61
3.6.2. <u>Modelo ajustado para DAP medio</u>	63
3.6.3. <u>Modelo ajustado para H media</u>	65
3.6.4. <u>Modelo seleccionado para volumen</u>	68
3.6.5. <u>Estadísticos de ajuste y precisión para los modelos seleccionados</u>	70
3.6.6. <u>Estimación del impacto del daño en la producción de madera a los 7 años</u>	71
3.6.7. <u>Diferencias en producción de volumen observado vs. esperado sin daño – Análisis por cuartil de h_{dom}</u>	73
3.7. DISCUSIÓN	75
3.8. CONCLUSIONES	79
3.9. BIBLIOGRAFÍA	80
4. <u>CONCLUSIONES GENERALES</u>	91
5. <u>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u>	92
6. <u>ANEXOS</u>	95
6.1. Resultados Anova Tipo III para volumen	95
6.2. Resultados test de Duncan	95
6.3. Histograma de frecuencias de IDC medidos a los 6 meses (a), 12 meses (b), 24 meses (c)	97

RESUMEN

Con los años se ha visto una reducción del área ocupada por plantaciones de *Eucalyptus globulus* (L.) en Uruguay, suceso que fue asociado al arribo de *Teratosphaeria nubilosa*. Pese a su importancia la información nacional respecto al efecto de *Teratosphaeria leaf disease* (TLD) en la productividad en plantaciones comerciales es escasa. El objetivo del trabajo fue cuantificar el impacto de *T. nubilosa* sobre la producción de madera de *E. globulus* en plantaciones comerciales de Uruguay. Los objetivos específicos fueron: i) Ajustar un modelo que mejor estime el Diámetro a la Altura del pecho (DAP), Altura y Volumen en base a datos de parcelas de inventario, ii) Estimar el impacto de la enfermedad en base al modelo desarrollado. Para ello se realizó: i) una revisión bibliográfica sobre productividad de *E. globulus* previo al arribo del patógeno, ii) el ajuste de modelos para desarrollar ecuaciones que permitieran estimar DAP y Altura (promedio de la parcela) y Volumen (por hectárea) con un nivel de daño conocido y iii) una estimación del daño en base a los modelos desarrollados asumiendo un daño cero. Dadas las limitantes de información respecto a la productividad previa a la llegada del patógeno, el uso de modelos fue la única alternativa para estimar el impacto de la enfermedad. Los resultados de la modelación indicaron efecto de la enfermedad sobre el DAP (cm) y el volumen (m³/ha). A su vez los niveles de daño de copa por TLD no variaron con la calidad del sitio. Sin embargo, la diferencia al comparar los árboles con daño de copa vs sin daño fue, de 38.8 y 16 m³/ha para sitios forestales caracterizados como de índice de sitio alto y bajo, respectivamente. El análisis de los resultados indicó que la enfermedad tuvo mayor impacto en sitios de mayor producción, donde las plantas producen más volumen de madera, respecto a sitios más pobres donde probablemente otros factores de restricción tienen mayor peso relativo. Este trabajo aporta un nuevo parámetro a considerar al momento de evaluar el posible impacto de TLD sobre *E. globulus*.

Palabras clave: patógeno foliar, *Eucalyptus*, daño, modelos de estimación, disminución de crecimiento

Impact of *Teratosphaeria nubilosa* on the growth of *Eucalyptus globulus* (L.) in Uruguay

SUMMARY

Over the years there has been a reduction in the area occupied by *Eucalyptus globulus* (L.) plantations in Uruguay, an event that was associated with the arrival of *Teratosphaeria nubilosa*. Despite its importance, national information regarding the effect of *Teratosphaeria Leaf Disease* (TLD) on productivity in commercial plantations is scarce. The objective of the work was to quantify the impact of *T. nubilosa* on the production of *E. globulus* wood in commercial plantations in Uruguay. The specific objectives were: i) Adjust a model that best estimates the Diameter at breast height (DBH), Height and Volume based on data from inventory plots, ii) Estimate the impact of the disease based on the developed model. For this, the following was carried out: i) a bibliographic review on the productivity of *E. globulus* prior to the arrival of the pathogen, ii) the adjustment of models to develop equations that allowed estimating DBH and Height (average of the plot) and Volume (per hectare) with a known level of damage and iii) an estimate of the damage based on the models developed assuming zero damage. Given the limitations of information regarding productivity prior to the arrival of the pathogen, the use of models was the only alternative to estimate the impact of the disease. The results of the modeling indicated the effect of the disease on the DBH (cm) and the volume (m³/ha). In turn, the levels of crown damage by TLD did not vary with the quality of the site. However, the difference when comparing trees with crown damage vs. without damage was 38.8 and 16 m³/ha for forest sites characterized as high and low site index, respectively. The analysis of the results indicated that the disease had a greater impact in sites of greater production, where the plants produce more volume of wood, compared to poorer sites where probably other restriction factors have greater relative

weight. This work provides a new parameter to consider when evaluating the possible impact of TLD on *E. globulus*.

Keywords: foliar pathogen, *Eucalyptus*, damage, estimation models, growth decline

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, la superficie forestal total ha disminuido de 4280 a 3990 millones de hectáreas; sin embargo, la proporción de bosques plantados aumentó del 4,06 % al 6,95 % para el período entre 1990 y 2015 (Payn et al., 2015).

América del Sur presenta la proporción más alta de plantaciones forestales, caracterizándose por utilizar casi en su totalidad especies introducidas (FAO, 2020). En Uruguay, la superficie efectiva total de bosques plantados es de 1.048.000 ha, donde el género *Eucalyptus* es predominante, ocupando aproximadamente un 80 % de dicha área (Arriaga, 2021).

El género *Eucalyptus* pertenece a Myrtaceae, es originario de Australia (Doughty, 2000) y presenta más de 700 especies descritas (Yost et al., 2021). Se distribuye naturalmente desde el nivel del mar hasta los 2.300 m de altitud (Doughty, 2000), adaptándose a una gran diversidad de suelos, desde ácidos hasta alcalinos (Brussa, 1994). Su alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales, la plasticidad de su uso, sumado al rápido crecimiento y rusticidad (Brussa, 1994), dieron lugar a su integración al sistema forestal maderero de Uruguay (Balmelli et al., 2016).

Las primeras introducciones de eucaliptos en Uruguay datan del año 1853, con la finalidad de instalación de bosques de abrigo y sombra para la producción ganadera (Soust, 2012). Con la aprobación de la segunda ley forestal en el año 1987, aumentaron las introducciones de diferentes especies de eucaliptos y se observó una constante expansión del área plantada. *Eucalyptus globulus* Labill, seguido de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *Eucalyptus tereticornis* Sm., fueron las especies pioneras, siendo plantadas por primera vez a partir de semilla de origen desconocido (FAO, 1981, Bush, 2011). Actualmente, el *Eucalyptus* es el género que reviste la mayor importancia superando el 80 % del total de las plantaciones forestales del país (Arriaga, 2021, Uruguay XXI, 2021). Según la última actualización del MGAP-DIEA (2021), *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* Maiden ex

Hill son las especies predominantes, con el 84 % del total del área plantada con este género.

La expansión del área, sumada a la introducción de germoplasma al país y la tendencia a la baja diversidad genética (asociada a la producción clonal), aumentan el riesgo de ocurrencia de problemas sanitarios. Esta expansión y mayor demanda de germoplasma incrementan la probabilidad de ingreso de insectos plaga y enfermedades exóticas al país, lo que favorece la ocurrencia de reencuentros entre estas plagas y enfermedades con sus hospederos, lo que incrementa el surgimiento de nuevos problemas sanitarios (Pérez, 2012). En este sentido, un claro ejemplo es el reencuentro de *Eucalyptus globulus* y el patógeno foliar *Teratosphaeria nubilosa* (sin. *Mycosphaerella nubilosa*) (Ascomycota: Teratosphaeriaceae), ambos originarios de Australia.

A pesar de la excelente aptitud de *E. globulus* para la producción de pulpa de celulosa, la introducción accidental de *T. nubilosa* ha llevado al abandono casi total de esta especie por parte de los productores debido al gran daño de copa observado en plantaciones comerciales y a la aparente reducción de la productividad (Olmos et al., 2018). Pese a esto, sorprendentemente, no ha sido cuantificado el impacto de la enfermedad en la productividad de plantaciones comerciales de *E. globulus* a lo largo de toda la rotación.

Por este motivo, el objetivo general de este trabajo fue estimar la magnitud de las pérdidas en productividad causadas por *T. nubilosa* en plantaciones de *E. globulus*. Como objetivos específicos se plantearon: i) ajustar un modelo que estime diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total media y volumen del rodal con base en datos de parcelas de inventario con un nivel de daño de copa conocido, y ii) cuantificar el impacto de la enfermedad sobre la base del modelo desarrollado.

La estructura central de este trabajo consiste en dos capítulos. El primer capítulo corresponde a una revisión bibliográfica titulada «*Eucalyptus globulus* en Uruguay: a 16 años de la primera detección de *Teratosphaeria*

nubilosa», la cual busca presentar un estado de situación respecto a la productividad histórica de *E. globulus*. El segundo capítulo se titula «Estimación del impacto de *Teratosphaeria nubilosa* sobre la producción de madera de plantaciones comerciales de *Eucalyptus globulus*», en el cual se estiman las pérdidas de volumen en plantaciones comerciales mediante la modelación de variables de crecimiento obtenidos a los siete años. Ambos artículos serán enviados a la revista *Agrociencia Uruguay* para su publicación.

2. *Eucalyptus globulus* (L.) EN URUGUAY: A 16 AÑOS DE LA PRIMERA DETECCIÓN DE *Teratosphaeria nubilosa**

Pintos Mariana*¹, Rachid Cecilia², Pérez Carlos A³

¹Polo Desarrollo Universitario, Espacio de Biología vegetal. Sede Tacuarembó, Cenur Noreste, Universidad de la República. Ruta 5, Brigadier Gral. Fructuoso Rivera, km 386, Tacuarembó. Uruguay.

²Programa Nacional de Producción Forestal, Instituto de Investigación Agropecuaria. Ruta 5, Brigadier Gral. Fructuoso Rivera km 386, Tacuarembó. Uruguay.

³Departamento de Protección Vegetal. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Estación Experimental «Dr. Mario Alberto Cassinoni». Ruta 3, km 363, Paysandú. Uruguay.

*Artículo escrito bajo el formato de la revista *Agrociencia Uruguay*.

2.1. RESUMEN

El área plantada con *Eucalyptus* spp. ha mostrado un crecimiento exponencial en los últimos 30 años en Uruguay, representando actualmente el 80 % del área total forestada. Hasta el año 2007, *Eucalyptus globulus* (L.) fue la especie forestal más plantada, situación que cambió con la introducción accidental del patógeno foliar *Teratosphaeria nubilosa*, detectado por primera ese año. El objetivo de esta revisión fue realizar una reseña histórica de lo sucedido en este patosistema en Uruguay. *Teratosphaeria nubilosa* causa la enfermedad conocida como mancha foliar por nubilosa o *Teratosphaeria leaf disease* (TLD, por sus siglas en inglés). *Eucalyptus globulus* es la especie más susceptible a esta enfermedad que ocasiona defoliación prematura severa, lo que afecta el crecimiento de los árboles y la productividad de las plantaciones. Actualmente, la estrategia más eficaz para minimizar el daño que genera TLD es el uso de especies resistentes. Dicha estrategia ha llevado a un recambio de especies, lo que ha resultado en una reducción del área efectiva plantada con *E. globulus*, especie que en la actualidad ha sido virtualmente abandonada. Esto ha resultado en menores ingresos y pérdida de mercados, dado que la madera de las especies alternativas tiene menor demanda en el mercado exterior y su valor es inferior. El presente trabajo remarca la limitada disponibilidad de información respecto al impacto de TLD sobre la producción de *E. globulus* y sugiere que la decisión del recambio de especies no estuvo respaldada por datos objetivos respecto al daño causado por la enfermedad sobre esta especie.

Palabras clave: patógeno foliar, eucalipto, defoliación, estimación de daño

2.2. SUMMARY

Eucalyptus globulus* (L.) IN URUGUAY: 16 YEARS AFTER THE FIRST DETECTION OF *Teratosphaeria nubilosa

The area planted with *Eucalyptus spp.* has shown exponential growth in the last 30 years in Uruguay, currently representing 80 % of the total forested area. Until 2007, *Eucalyptus globulus* (L.) was the most planted forest species, a situation that changed with the accidental introduction of the foliar pathogen *Teratosphaeria nubilosa*, detected for the first time that year. The objective of this review was to analyze this pathosystem in Uruguay. *Teratosphaeria nubilosa* causes the disease known as 'nubilosa leaf spot' or 'Teratosphaeria leaf disease' (TLD). *Eucalyptus globulus* is the most susceptible species to this disease, resulting in severe premature defoliation, thus affecting tree growth and plantation productivity. Currently, the most effective strategy to minimize the damage generated by TLD is the use of resistant species. This strategy has led companies to change of species, resulting in a reduction in the effective area planted with *E. globulus*, a species that has now been virtually abandoned. This has resulted in lower income and loss of markets, since wood of the alternative species has less demand in the foreign market and its value is lower. The present work highlights the limited availability of information regarding the impact of TLD on the production of *E. globulus* and suggests that the decision to change species was not supported by objective data regarding the damage caused by the disease on this species.

Keywords: foliar pathogen, eucalyptus, defoliation, damage estimation

2.3. RESUMO

Eucalyptus globulus* (L.) NO URUGUAI: 16 ANOS APÓS A PRIMEIRA DETECÇÃO DE *Teratosphaeria nubilosa

A área plantada com *Eucalyptus spp.* tem apresentado um crescimento exponencial nos últimos 30 anos no Uruguai, representando atualmente 80% da área florestal total. Até 2007, o *Eucalyptus globulus* (L.) era a espécie florestal mais plantada, situação que mudou com a introdução acidental do patógeno foliar *Teratosphaeria nubilosa*, detectado pela primeira vez naquele ano. O objetivo desta revisão foi fornecer uma revisão histórica do que aconteceu a este patossistema no Uruguai. *Teratosphaeria nubilosa* causa a doença conhecida como mancha nubilosa ou doença foliar de *Teratosphaeria* (TLD). O *Eucalyptus globulus* é a espécie mais suscetível a esta doença, causando desfolha precoce severa, que afeta o crescimento das árvores e a produtividade das plantações. Atualmente, a estratégia mais eficaz para minimizar os danos gerados pelo TLD é o uso de espécies resistentes. Essa estratégia tem levado a uma rotatividade de espécies, o que tem resultado na redução da área efetiva plantada com *E. globulus*, espécie hoje praticamente abandonada. Isso tem resultado em menor receita e perda de mercados, já que a madeira da espécie alternativa tem menor demanda no mercado externo e seu valor é menor. O presente trabalho destaca a limitada disponibilidade de informações sobre o impacto do TLD na produção de *E. globulus* e sugere que a decisão de mudar de espécie não foi apoiada por dados objetivos sobre os danos causados pela doença nesta espécie.

Palavras-chave: patógeno foliar, eucalipto, desfolha, estimativa de dano

2.4. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el rubro forestal tuvo un incremento exponencial en la superficie cultivada desde 1987, tras la aprobación de la segunda ley forestal N.º 15.939. Actualmente, la superficie efectiva total de bosques plantados es de 1.048.228 ha⁽¹⁾, de las cuales el 80 % corresponden a *Eucalyptus*⁽²⁾. La expansión del área plantada con eucaliptos, la baja diversidad genética por el uso de pocas especies y el creciente uso de clones han aumentado el riesgo de ocurrencia de problemas sanitarios asociados a enfermedades y plagas. Diversas enfermedades afectan las plantaciones de eucalipto y la producción de plantines en viveros en Uruguay⁽³⁾. Particularmente, la mancha foliar causada por *Teratosphaeria nubilosa* ha tenido un gran impacto sobre plantaciones comerciales de *E. globulus* en Uruguay. A pesar de ello, son pocos los estudios enfocados en evaluar los efectos en la productividad de *E. globulus* y el impacto económico ocasionado por esta enfermedad en el sector forestal. Por tanto, el presente trabajo tuvo por objetivo resumir el estado del conocimiento sobre el impacto de *T. nubilosa* en la producción mundial de *E. globulus*, con énfasis en Uruguay.

2.5. IMPORTANCIA DE LA FORESTACIÓN EN URUGUAY

Las primeras plantaciones forestales registradas en Uruguay fueron realizadas con especies exóticas de *Pinus* y *Eucalyptus*. Los eucaliptos fueron introducidos en el año 1853 por Tomkinson y posteriormente fueron considerados como imprescindibles en todo bosque de servicio a la actividad agropecuaria. Esto debido a su valor y gran versatilidad de usos como fuente

de madera para combustible, aserrado, abrigo, postes y piques, entre otros⁽⁴⁻⁵⁾. Durante el siglo XX, su uso se extendió rápidamente, debido a su adaptación a las condiciones climáticas y a diferentes tipos de suelos del país⁽²⁾. Pequeñas plantaciones de una hectárea de *Eucalyptus* spp. y largas cortinas de dos a cuatro filas de árboles distribuidos por todo el territorio del país se volvieron componentes comunes del paisaje. La producción destinada a aserraderos y a plantas de celulosa potenció la demanda forestal y se observó un crecimiento del área destinada a producción de madera sólida y pulpa⁽⁶⁾.

Como consecuencia de la aprobación de la segunda Ley Forestal, en el año 1987, se observó una constante expansión del área plantada, que pasó de menos de 50.000 ha a inicios de los 90 a 1.048.228 ha en el año 2021⁽¹⁾. La superficie de plantaciones con eucaliptos continua en aumento mientras que la de pinos declinó; los resultados de la última cartografía forestal publicada en 2021 indican una disminución de la superficie ocupada tanto con *Pinus elliottii* Engelm. como con *Pinus taeda* L. de 29.111 ha, que ocupan actualmente 150.908 ha. De las especies de *Eucalyptus*, las más plantadas son *E. dunnii* (216.581 ha) y *E. grandis* (250.964 ha)⁽¹⁾.

Actualmente, existen en Uruguay dos principales cadenas industriales, la celulósica y la de transformación mecánica de la madera (aserrío y debobinado), donde se obtienen los principales productos para la exportación⁽²⁾. Las exportaciones del sector forestal han mostrado una trayectoria creciente. En el año 2020, las exportaciones del complejo forestal (madera, productos de madera, celulosa, papel y cartón) representaron el 14,7 % del total de bienes exportados, que se transformó en uno de los rubros más importantes en las exportaciones del país⁽⁷⁾.

2.6. IMPORTANCIA DEL GÉNERO *EUCALYPTUS* EN URUGUAY

El *Eucalyptus* L'Hér. pertenece a la familia Myrtaceae y es originario de Australasia. La mayor parte de las especies del género están ampliamente distribuidas tanto en Australia continental como en la isla de Tasmania. El género comprende más de 700 especies descritas⁽⁸⁾, las cuales pueden ser encontradas a diferentes niveles de altitud, desde el nivel del mar hasta los 2.300 m y en una gran diversidad de suelos⁽⁹⁾. El *Eucalyptus* ha sido distribuido por el hombre por todo el mundo, sobre todo a zonas de clima mediterráneo, subtropical, tropical y templado⁽¹⁰⁾. La gran diversidad de especies, su capacidad de adaptación a diferentes sitios forestales, su plasticidad, sumado a su rapidez de crecimiento y rusticidad en comparación con otros géneros forestales, dieron lugar a la adopción del eucalipto para su cultivo a nivel mundial⁽¹¹⁾⁽¹⁰⁾.

Particularmente, Uruguay es un país propicio para el cultivo de *Eucalyptus*, dado que sus características climáticas son similares a las de su lugar de origen, facilitando su adaptación y establecimiento. Estas son: está situado entre los 30° y 35° S de latitud, en la costa este de América del Sur, con una precipitación acumulada anual entre 1200 y 1600 mm, una temperatura media anual de 17,7 °C y una variación en la humedad relativa entre 70 y 78 %⁽¹²⁾. Actualmente, el género *Eucalyptus* es el que ocupa mayor área en Uruguay, impulsado por la demanda de plantas de celulosa y aserraderos. La producción de madera se destina principalmente a la celulosa y, en menor medida, a diferentes productos de madera maciza⁽⁷⁾.

Históricamente, *E. globulus*, fue la especie más plantada en Uruguay, debido a su alta demanda en el mercado internacional, explicado por la excelente calidad de su madera para la producción de pulpa de celulosa y

papel⁽¹³⁻¹⁶⁾. Sin embargo, su área disminuyó significativamente a partir del 2007 debido al aumento de problemas sanitarios⁽¹⁷⁻¹⁸⁾. En la actualidad, las especies que ocupan la mayor superficie efectiva son *Eucalyptus grandis* (250.964 ha) y *E. dunnii* (216.581 ha)⁽¹⁾. Según⁽¹⁾, la superficie efectiva en hectáreas para *E. globulus*, *E. maidenii* y *E. bicostata* es de 103.639 ha, indicando la reducción en área de *E. globulus*.

2.6.1. Importancia de *Eucalyptus globulus* LABILL. en Uruguay

2.6.1.1. *Características de E. globulus*

Eucalyptus globulus es originario del sudeste de Australia, distribuido entre los paralelos 38° y 43° de latitud sur, presente en los estados de Tasmania, Victoria y Nueva Gales del Sur, en sitios con altitudes superiores a los 800 m. s. n.⁽¹⁹⁾⁽⁸⁾. En Uruguay fue una de las especies pioneras⁽²⁰⁾ y, en sus inicios, *E. globulus* fue plantada en las distintas regiones del país, pero fue observada una mayor adaptación a zonas con influencia marítima⁽¹⁷⁾. La limitada adaptación cuando es plantada en zonas alejadas del mar ha ido desplazando su distribución hacia la región sureste del país⁽¹⁷⁾
⁽²¹⁾⁽¹⁵⁾.

Durante casi una década, *E. globulus* fue la principal especie cultivada en Uruguay, con más de 200.000 ha⁽²²⁾, debido a que es una de las especies preferidas por la industria papelera⁽²³⁻²⁴⁾. Las características de su fibra hacen más rentable la producción de pasta de celulosa, dado el menor consumo de productos químicos y de agua utilizado por unidad de pasta producida, para el blanqueo de la pulpa⁽²⁵⁾. Por otra parte, el consumo de madera por unidad

de pulpa producida es menor en comparación con *E. grandis*, siendo la relación 2,8 a 3 m³/t vs. 4 a 4,3 m³/t, además el rendimiento bruto en cocción de *E. globulus* es de 55,6%, superando en un 13% a *E. grandis*⁽²⁶⁾.

Sin embargo, *E. globulus* es una de las especies de mayor susceptibilidad a TLD, la mancha foliar causada por *T. nubilosa*, que ocasiona graves problemas en el crecimiento y productividad de la especie. Este patógeno genera un daño de copa tan severo sobre esta especie que, en países donde ocurre, se ha sustituido por especies resistentes o tolerantes a *T. nubilosa*⁽²⁷⁻²⁸⁾.

2.6.1.2. Evolución del área plantada con *E. globulus* en Uruguay

La superficie efectiva de *E. globulus* ha ido disminuyendo, pasando de 244.760 ha en 2004⁽²⁹⁾ a menos de 103.639 ha en 2021, según diferentes relevamientos cartográficos⁽¹⁾ (figura 1). La principal causa de esa disminución se debe al impacto que ocasiona TLD en las plantaciones y, como consecuencia, los productores han desistido de plantar *E. globulus*, que ha dejado de ser la especie preferida por el sector exportador de rolo para producción de celulosa⁽¹⁷⁾.

En el período comprendido entre 2018 y 2021, se ha observado un aumento de la superficie efectiva ocupada por plantaciones comerciales con *E. dunnii* (13 %), *E. grandis* (7 %) y otras especies de *Eucalyptus* (24 %), y una disminución de la superficie ocupada por *E. globulus* en 31 % y por pinos en 16 %⁽³⁰⁾. La principal causa de esta disminución para *E. globulus* ha sido la mancha foliar por *T. nubilosa*.

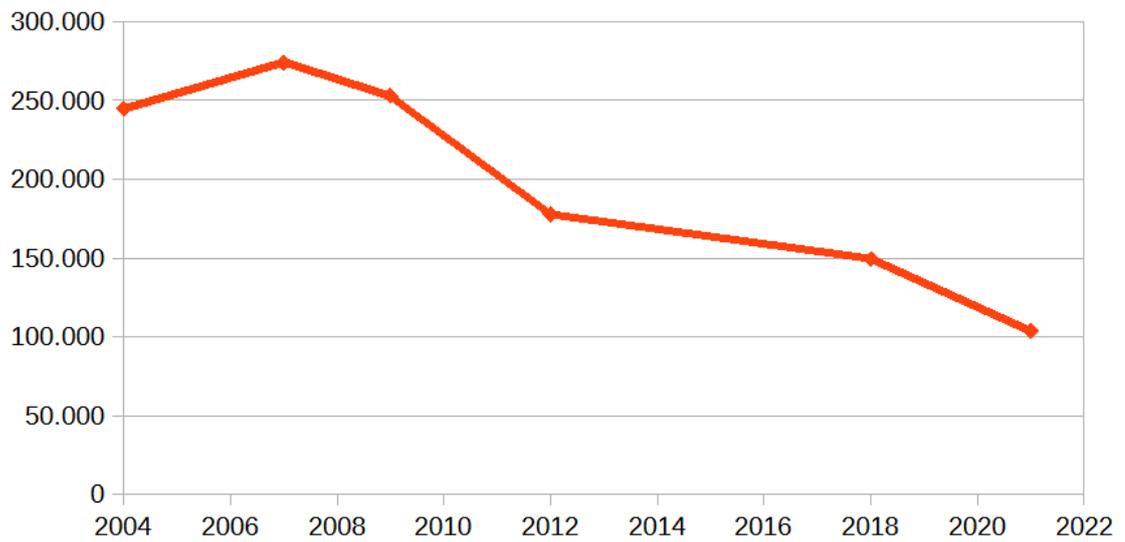


Figura 1. Evolución del área efectiva plantada con *E. globulus* en Uruguay. Elaboración propia. Fuente: Dirección General Forestal⁽¹⁾⁽³¹⁻³³⁾, Anuario estadístico agropecuario⁽³⁴⁻³⁵⁾.

Por otra parte, para el período comprendido entre 2013 y 2020, la producción de plantines de *E. globulus* también evidencia una disminución en la importancia relativa de esta especie en el sector⁽³⁶⁻⁴¹⁾ (cuadro 1).

Cuadro 1. Evolución en la producción anual de plantines de *E. globulus* con base en datos recabados de encuestas a viveros forestales

Fecha encuesta	Plantines producidos	Plantines de <i>E. globulus</i> (%)*	Referencias
2013	1.757.808	2,3	(41)
2014	1.150.000	2,14	(40)
2015	405.000		(36)
2016	690.000	0,8	(39)
2017	505.024	0,5	(38)
2018	341.819	0,3	(37)
2020	308.364	0,3	(36)

*Plantines de *E. globulus* en relación con el total producido para todas las especies de eucaliptos o todas las especies en general (%).

2.7. EFECTO DE LAS ENFERMEDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL EUCALIPTO

2.7.1. Principales enfermedades del eucalipto en Uruguay

El *Eucalyptus spp.*, al ser exótico en Uruguay, en sus inicios estuvo libre de sus principales plagas y enfermedades, ya que estas, en su mayoría, habían quedado atrás en los sitios de origen, logrando escapar de esta forma de sus enemigos naturales⁽⁴²⁾. Sin embargo, la globalización mediante el movimiento de germoplasma y el aumento del tránsito internacional favorecieron la dispersión de distintos problemas sanitarios desde su lugar de origen hacia las áreas donde el eucalipto ha sido introducido⁽⁴³⁾⁽⁴²⁾.

Durante las últimas dos décadas, el reporte de plagas en plantaciones forestales ha ido aumentando casi exponencialmente⁽³⁾. Conforme aumenta el área plantada, las introducciones accidentales de plagas exóticas, así como el cambio de hospederos (de plagas y enfermedades) del bosque nativo a especies forestales exóticas, se ha incrementado⁽⁴²⁾⁽⁴⁴⁾.

Han sido identificados varios patógenos en plantaciones de eucaliptos que causan manchas foliares, por ejemplo: *Amycosphaerella africana* (= *Mycosphaerella aurantia*), *Mycosphaerella lateralis*, *Pallidocercospora heimii* (= *M. heimii*), *Paramycosphaerella marksii* (= *M. marksii*), *Phaeophleospora scytalidii* (= *M. scytalidii*), *Pseudocercospora norchiensis*, *Pseudoteratosphaeria ohnowa* (= *Teratosphaeria ohnowa*), *Teratosphaeria epicoccoides* (= *Kirramyces epicoccoides*), *T. gauchensis* (= *Colletogloeopsis gauchensis*), *T. molleriana*, *T. pluritubularis*, *Suberoteratosphaeria pseudosuberosa* (= *T. pseudosuberosa*), y *S. suberosa* (= *T. suberosa*)⁽³⁾. De todas estas especies, *T. nubilosa* y *T. pseudoeucalypti* son las más agresivas

y han causado problemas en las plantaciones de *E. globulus* en Uruguay⁽⁴⁵⁻⁴⁹⁾. *Teratosphaeria nubilosa* también puede infectar a *E. grandis*, *E. nitens*, *E. maidenii*, *E. dunnii*, *E. viminialis*, *E. bicostata*, *E. botryoides*, *E. pilularis*, *E. urophylla* x *E. globulus*, *E. globulus* x *E. nitens*, pero la especie más susceptible es *E. globulus*⁽⁵⁰⁻⁵¹⁾.

2.7.2. Mancha foliar causada por *Teratosphaeria nubilosa*

2.7.2.1. *Características del patógeno*

Teratosphaeria nubilosa se ha convertido en el principal patógeno de *E. globulus*, afectando principalmente el follaje juvenil y el follaje intermedio, causando manchas necróticas (figura 2A) que terminan en una defoliación prematura⁽³⁾. En infecciones severas, sobre todo en genotipos muy susceptibles, puede ocasionar la muerte de ápices y ramas⁽³⁾⁽⁵²⁻⁵³⁾ (figura 2B). En menor frecuencia pueden desarrollarse síntomas sobre follaje adulto⁽⁵⁴⁾. Los primeros síntomas son manchas necróticas de tamaño variable, de forma aproximadamente circular a irregular que frecuentemente se fusionan en una gran lesión de tejido necrosado⁽³⁾⁽⁵⁵⁾ (figura 2A).

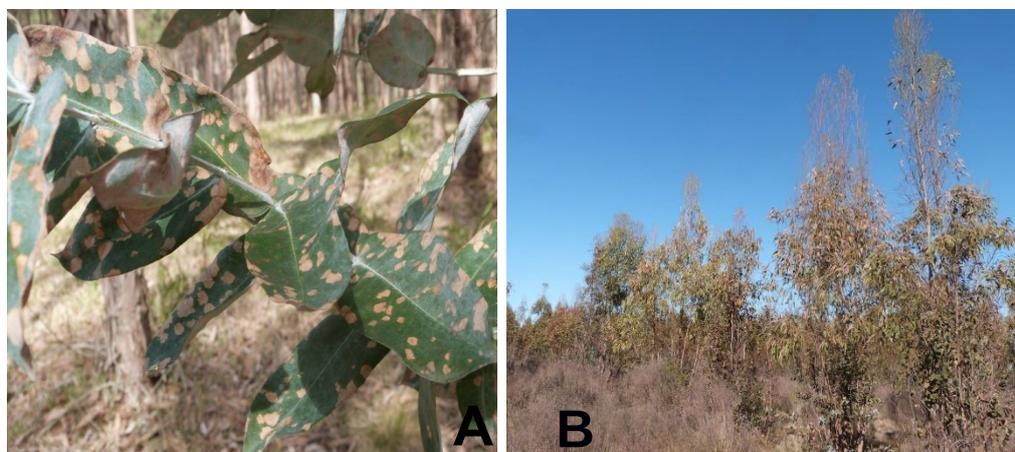


Figura 2. Síntomas de TLD en *E. globulus*: **A.** manchas necróticas en follaje juvenil, **B.** muerte de ápices y ramas por ataque severo en árboles jóvenes.

2.7.2.2. Origen y distribución global de *T. nubilosa*

Teratosphaeria nubilosa se considera nativa de Australia siendo registrada en los estados de Tasmania, Victoria, Australia occidental, Australia del Sur y Nueva Gales del Sur⁽⁴⁸⁾⁽⁵⁶⁾. Esta especie se ha dispersado hacia varios países del este africano, España, Portugal, Uruguay y Brasil⁽⁵⁷⁻⁵⁸⁾⁽²⁸⁾. En África se ha reportado sobre plantaciones comerciales de *Eucalyptus* spp., habiéndose constatado también su presencia sobre *E. globulus* en Zambia, Etiopía, Tanzania y Kenia⁽⁴⁸⁾. En el continente europeo también ha sido reportada sobre *E. globulus*, particularmente en Galicia (España)⁽⁵⁹⁾, así como en Portugal⁽²⁸⁾. Posteriormente fue identificada en América del Sur, en plantaciones comerciales de *E. globulus* en Brasil⁽⁶⁰⁾ y en Uruguay⁽⁶¹⁾ (figura 3).

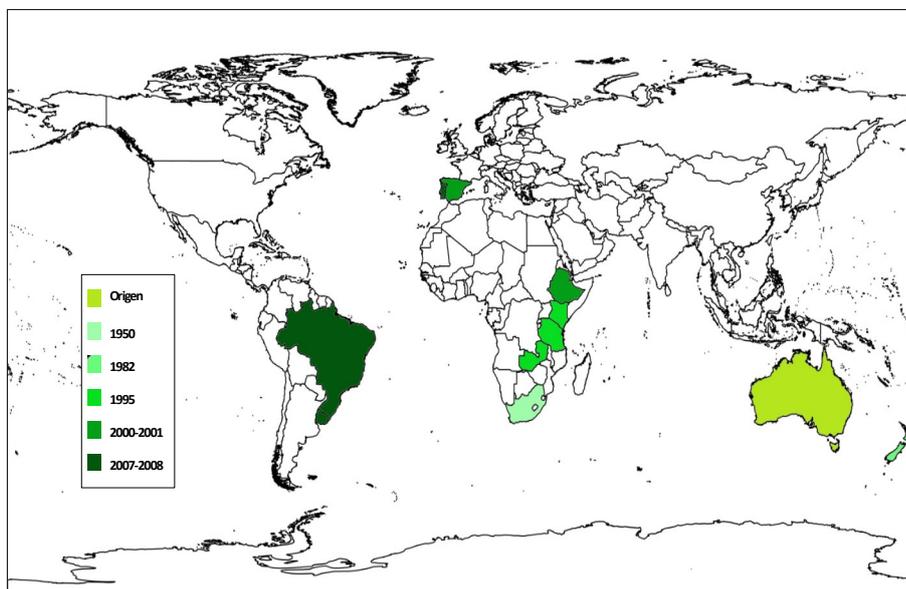


Figura 3. Distribución mundial de *T. nubilosa* (elaborado en base⁽⁶²⁾⁽⁶¹⁾)

2.7.2.3. Daños causados por TLD en su centro de origen y en otros países

Teratosphaeria nubilosa ha causado importantes problemas en plantaciones de *E. globulus* en Australia⁽⁵⁷⁾⁽⁴⁸⁾. Maxwell⁽⁶³⁾ concluyó que TLD es la enfermedad con mayor incidencia en Australia, que afecta plantaciones y causa pérdidas económicas. En países como Australia y Sudáfrica, el establecimiento de la enfermedad ha llevado a la sustitución de especies⁽⁴⁸⁾
(64-65).

Lundquist y Purnell⁽⁶⁵⁾, Pinkard y Mohammed⁽⁶⁶⁾ y Smith⁽⁶⁷⁾, trabajando con *E. globulus* y *E. nitens*, plantean que a partir de un 25 % de daño foliar, es esperable una reducción significativa en el crecimiento. Por otra parte, se observan tasas de crecimiento menores para árboles afectados si se

compara con árboles sanos⁽⁶⁸⁾⁽⁶²⁾. Carnegie y Ades⁽⁶⁹⁾ registraron para daños foliares del 20 % reducciones del crecimiento de entre 4 % y 17 %. Smith⁽⁶⁷⁾, por su parte, concluyó que con pérdidas de área foliar fotosintéticamente activa menores al 80 % los árboles recuperan posteriormente sus tasas de crecimiento a niveles normales, si bien se observó una reducción en el crecimiento inicial de *E. globulus*. Sin embargo, cuando el daño foliar fue mayor al 80 %, el efecto sobre el crecimiento fue permanente y los árboles no lograron compensar el daño ocasionado por la enfermedad.

2.8. DAÑOS POR TLD EN URUGUAY

Al igual que lo ocurrido en otros países, el daño causado por TLD en plantaciones de *E. globulus* en Uruguay ha llevado al remplazo por especies más resistentes como lo son *E. dunnii* y *E. grandis*⁽¹³⁾. Prospecciones realizadas en 2008 indicaron una prevalencia de *T. nubilosa* del 100 % para plantaciones de *E. globulus* de 6, 12 y 24 meses donde se cuantificaron daños de copa promedio que resultaron en 12, 46 y 76 %, respectivamente⁽⁷⁰⁻⁷¹⁾⁽⁵¹⁾. Estudios realizados en árboles jóvenes de *E. globulus* mencionan que, a menudo, el daño de copa ocasionado por la enfermedad alcanza el 80 %⁽⁷²⁾⁽⁷⁰⁾. Estos daños generan un impacto negativo significativo en el crecimiento y la supervivencia de los árboles, lo que resulta en pérdidas de productividad de las plantaciones afectadas⁽⁷³⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁷⁰⁾⁽⁴⁷⁾.

Balmelli y autores⁽⁷³⁾ mencionan que el nivel de defoliación que provoca una pérdida significativa de diámetro de los árboles es de 40 % en *E. globulus* y de 20 % en *E. maidenii* (a los 50 meses), sin observar un efecto significativo sobre el crecimiento con daño de copa menores. La frecuencia de ataque y la gran severidad de los daños provocados por *T. nubilosa* son

consecuencia de la alta susceptibilidad del follaje juvenil de *E. globulus* a esta enfermedad⁽⁷⁴⁻⁷⁵⁾. Dicha frecuencia y severidad también podrían estar asociadas al gran volumen de inóculo producido por el patógeno y a las condiciones ambientales favorables de Uruguay⁽⁵⁵⁾.

Algunos autores mencionan la asociación de algunos efectos indirectos del daño por TLD (por ejemplo, la mayor susceptibilidad a factores abióticos como heladas, sequías o temperaturas extremas) con la disminución en el área fotosintéticamente activa de la planta y el impacto en el crecimiento⁽⁶⁷⁾⁽⁷⁵⁾. Según Balmelli y autores⁽⁷⁶⁾, en Uruguay, los árboles que son severamente afectados por enfermedades foliares tienen una reducción importante en el crecimiento (posterior al ataque) y un aumento marcado en la mortalidad, correlacionado con la disminución del área foliar.

Cabe mencionar que casi todos los datos publicados en Uruguay corresponden a ensayos parcelarios y estimaciones realizadas en plantaciones jóvenes; pese a su importancia, se denota la falta de estudios sobre el efecto de la enfermedad sobre la pérdida de productividad.

2.8.1. Alternativas de manejo de *T. nubilosa* en Uruguay

2.8.1.1. *Control cultural*

Se han propuesto diferentes estrategias para disminuir el impacto de *T. nubilosa* en plantaciones de *E. globulus*. Por ejemplo, la elección del sitio, tratando de evitar plantar en áreas de alto riesgo de infección⁽⁷⁷⁾. Esta alternativa de manejo no aplicaría en Uruguay, ya que se ha demostrado que *T. nubilosa* se distribuye en todo el territorio dadas las condiciones

ambientales preponderantes (varios días de lluvia y/o alta humedad relativa y temperaturas propicias para la infección)⁽⁷⁰⁻⁷¹⁾⁽⁵⁰⁻⁵¹⁾.

Por otra parte, Pinkard y autores⁽⁷⁸⁾ concluyeron que es posible reducir el efecto de la enfermedad en sitios con buena fertilidad y buena disponibilidad de nutrientes, ya que los árboles poseen mayor capacidad de recuperación después de una defoliación. Al mismo tiempo, estos autores mencionan que mantener un estado nutricional óptimo podría prevenir o compensar las pérdidas del crecimiento tras un ataque foliar. Existen evidencias de que una nutrición adecuada puede ayudar a prevenir o compensar los efectos de una infección o defoliación⁽⁷⁹⁻⁸⁰⁾. Carnegie⁽⁷⁷⁾ menciona que una buena fertilización acelera la recuperación de los árboles afectados. Por el contrario, Balmelli y colaboradores⁽⁵⁰⁾ indicaron que las fertilizaciones con P y B durante la plantación de *E. globulus* no redujeron los daños de TLD ni generaron una mayor recuperación de los árboles luego de ser refertilizados.

Otras de las estrategias utilizadas en el control cultural podrían ser una silvicultura intensiva o la aplicación de activadores de defensas. En este sentido algunos autores observaron un incremento en el vigor de las plantas⁽⁷⁷⁻⁷⁸⁾⁽⁸¹⁾⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁹⁾. En cambio, Alonso y colaboradores⁽⁸²⁾ indicaron que la aplicación de estimuladores de crecimiento y resistencia no tuvieron efecto en la reducción de la incidencia de TLD en *E. globulus*.

2.8.1.2. Control químico

En cuanto al control químico, algunos autores concluyeron que una aplicación estratégica de fungicida en períodos donde las condiciones son apropiadas para la infección genera una reducción de la incidencia y severidad de *T. nubilosa*⁽⁸²⁾. Aunque el uso de fungicidas sea una posible estrategia para el control de TLD en Uruguay, aún se necesitan más estudios para ajustar las dosis, el número de aplicaciones y el momento en que se deben realizar las aspersiones, y, sobre todo, conocer su viabilidad económica⁽³⁾.

2.8.1.3. Mejoramiento genético

Actualmente, la estrategia más eficaz de minimizar el daño de enfermedades es el uso de especies resistentes o genotipos resistentes⁽⁶⁸⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁸³⁾. Las características de los sistemas de producción forestal (cultivo extensivo, perenne y de relativamente baja inversión por unidad de superficie) hacen que el uso de la resistencia genética durable sea la principal medida de manejo tendiente a minimizar la interferencia de las enfermedades sobre la rentabilidad del cultivo⁽⁵⁸⁾⁽⁸⁴⁻⁸⁵⁾. Balmelli⁽⁷²⁾ y Milgate⁽⁸⁶⁾ concluyen que la utilización de genotipos que inicien precozmente el cambio de follaje es una alternativa factible para reducir el daño que genera TLD, dada la mayor resistencia que presenta el follaje adulto a la infección por *T. nubilosa*. Por su parte, Smith⁽⁶⁸⁾ demostraron que las especies más resistentes presentan un mesófilo de empalizada más denso, que dificulta la infección y propagación de *T. nubilosa*.

Por tanto, la mejora genética es una herramienta válida en la búsqueda de resistencia a TLD, siendo importante combinar la resistencia al patógeno y la superioridad productiva⁽⁸⁷⁾. En contraparte, Andjic⁽⁸⁸⁾ mencionan que la implementación de medidas de bioseguridad como las que se utilizan en Australia, o la importación de plantas, como cultivo de tejidos a partir de esquejes de una madre limpia, también podrían ser alternativas para frenar la propagación mundial de *Teratosphaeria* spp.

Según Pérez y autores⁽⁶¹⁾ en el año 2007, observaron en *E. globulus* una defoliación más severa que la conocida por *Mycosphaerella*. Los resultados revelaron un único haplotipo de *T. nubilosa*, siendo este es el primer registro del patógeno en Sudamérica.

El ingreso de *Teratosphaeria nubilosa* ha provocado grandes pérdidas en Uruguay, lo cual obligó a muchas empresas del sector forestal a realizar el cambio de especie buscando mitigar el daño en futuras plantaciones. Este cambio de especies ha generado una modificación en la composición de la masa forestal: *E. globulus* ha disminuido su participación relativa en comparación con el resto de las especies plantadas⁽⁸⁹⁾.

Actualmente, la industria celulósica ha optado por utilizar otras especies como *Eucalyptus dunnii*, *E. maidenii*, *E. grandis* y *E. smithii*, todas con características pulpables⁽⁷³⁾⁽⁹⁰⁾. A pesar de que *Eucalyptus maidenii* es más resistente a *T. nubilosa* que *E. globulus*, presenta un cambio retardado del follaje, lo que implica un mayor período de susceptibilidad, dejándolo sujeto a infecciones repetidas durante un período de tiempo más prolongado. En este sentido, Balmelli⁽⁷³⁾ advierten sobre el riesgo de remplazar a gran escala *E. globulus* por *E. maidenii* en Uruguay. Pese a esto, las empresas han optado por un cambio de especie influidas por estrategias de mercado.

En consecuencia, durante los últimos años, se han hecho esfuerzos para redirigir los planes de mejoramiento de árboles de *E. globulus* con el objetivo de desarrollar clones con buen comportamiento frente a *T. nubilosa*⁽³⁾.

2.9. CONSIDERACIONES FINALES

Históricamente, *E. globulus* ha sido la especie más plantada y preferida por la industria de celulosa en Uruguay, debido a las características de su fibra y al mayor rendimiento pulpable en comparación con otras especies.

Sin embargo, su alta susceptibilidad a TLD ha condicionado su permanencia en el sector. La llegada de *T. nubilosa* a Uruguay resultó en severos ataques de TLD a partir del 2007, condicionando su productividad y poniendo en jaque su viabilidad como especie de prioridad forestal. Estos hechos se sumaron a decisiones empresariales asociadas a un cambio de especie. En consecuencia, a partir de esa fecha la tasa de plantación anual con *E. globulus* ha disminuido gradualmente a cero, lo que ha llevado al virtual abandono de esta especie⁽³⁵⁾.

En la actualidad, existe escasa información nacional respecto al efecto de TLD sobre rendimiento y la totalidad de esta información corresponde a ensayos parcelarios y estimaciones realizadas en plantaciones jóvenes. Los altos niveles de daño foliar observados y su impacto productivo en el sector muestran la necesidad de estudiar la magnitud del daño causado por la enfermedad en el crecimiento de *E. globulus* en plantaciones comerciales de Uruguay. Conocer el efecto del daño sobre la productividad permitirá tomar decisiones respecto al futuro de esta especie y la posibilidad de seguir utilizándola.

2.10. BIBLIOGRAFÍA

1. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal, UY). 2021. Resultados Cartografía Forestal 2021. [En línea]. 20 enero 2019. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/resultados-cartografia-forestal-2021>
2. Uruguay XXI. 2021. Sector Forestal en Uruguay. [En línea]. 10 de agosto. 2021. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/a29771e03cc49e42fe516c01b0d271dc0fcf4cbe.pdf>
3. Simeto S, Balmelli G, Pérez C. 2020. Diseases of *Eucalyptus* Plantations in Uruguay: Current State and Management Alternatives. In: Estay S. (eds) Forest Pest and Disease Management in Latin America. Springer, Cham. 123-144. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35143-4_9
4. Porcile J. 2007. El eucalipto obtiene su carta de ciudadanía. En: Editorial Fin de Siglo, 2007. Crónicas del desarrollo forestal del Uruguay. 30-33. ISBN 978-9974-49-386-5
5. Soust P. 2012. A 25 años de la aprobación de la ley 15.939 (Ley Forestal). MGAP (Ed.). Montevideo: Anuario 2012- OPYPA. pp. 167-172. [En línea]. 10 abril 2018: <http://www.mgap.gub.uy/opypapublicaciones/ANUARIOS/Anuario2012/material/pdf/14.pdf>
6. Pérez Arrarte C. 2000. Impacto de las plantaciones forestales en Uruguay. [En línea]. 10 abril 2018.

https://www.grain.org/article/entries/71-impacto-de-las-plantaciones-forestales-en-uruguay#_ftn6

7. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2021. Anuario estadístico agropecuario 2021. [En línea]. 10 agosto 2020. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO%20ANUARIO%202021%20Web.pdf>
8. Yost JM, Wise SL, Love NL, Steane DA, Jones RC, Ritter MK, Potts BM. 2021. Origins, diversity and naturalization of *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) in California. *Forests*, 12(8): 1129. doi: <https://doi.org/10.3390/f12081129>
9. Doughty RW. 2000. The *Eucalyptus* a natural and commercial history of the gum tree. The Johns Hopkins University Press, 237 p.
10. Martínez R, Azpiroz H, Rodríguez J, Cetina V, Gutierrez M. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Ra Ximai*. 2(3): 815-846. doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46120313>
11. Grattapaglia D, Vaillancourt RE, Shepherd M, Thumma BR, Foley W, Külheim C, Myburg AA. 2012. Progress in *Myrtaceae* genetics and genomics: *Eucalyptus* as the pivotal genus. *Tree Genet. Genomes*, 8(3): 463-508. doi: 10.1007/s11295-012-0491-x
12. Castaño J, Giménez A, Ceroni M, Furest J, Aunchayna R. 2011. Caracterización agroclimática de Uruguay 1980-2009. Serie Técnica INIA, 193, 1-34.
13. Balmelli G. 2014. Impacto de *Mycosphaerella* en Uruguay y variabilidad genética para resistencia a la enfermedad en

- Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis de Doctorado. Valladolid, España. Universidad de Valladolid. 120 p.
14. Jackson S. 2013. *Mycosphaerella* Leaf Disease on *Eucalypts* in Western Australia-the diversity and impact. Thesis. School of Veterinary and Life Sciences. 300p.
 15. Balmelli G, Resquin F. 2005. Evaluación productiva de orígenes de *Eucalyptus globulus* en zonas litoral y norte. Serie actividades de difusión INIA, 149: 15 p.
 16. Balmelli G. 2002. Avances en mejoramiento genético de *Eucalyptus globulus* en el Programa Nacional Forestal del INIA. Estrategia de Mejoramiento Genético en *E. globulus*. En: Seminario forestal: Mejoramiento genético, silvicultura y sanidad de *Eucalyptus globulus* en la región sureste. Serie Actividades de Difusión INIA, 289:6-13.
 17. Olmos VM, Ansuberro J, Pintos M, Pérez G. 2018. Panorama empresarial del sector forestal uruguayo productor de *Eucalyptus globulus*. *Agrociencia* (Uruguay), 22(1): 133-139. <http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.1.14>.
 18. Olmos VM, Ansuberro J, Pintos M, Pérez G. 2017. Economic impact assessment of a forest pest invasion in Uruguay main challenges and opportunities. *Austrian J. For. Sci* 134(1a): 149–161
 19. Bevilacqua T. 2016. *Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guía para identificación. Piracicaba: IPEF, 448 p.
 20. FAO. 1981. *El eucalipto en la repoblación forestal*. Colección FAO: Montes n.º 11. Roma. 790: 146-148. ISBN92-5-300570-X
 21. Balmelli G, Altier N, Marroni V. 2007. Daños provocados por enfermedades foliares y por heladas en *Eucalyptus globulus*. I.

Efecto fenotípico sobre el comportamiento productivo posterior.
Boletín del CIDEU 3: 67-75. ISSN 1885-5237

22. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2020. Anuario estadístico agropecuario 2020. [En línea]. 10 abril 2019. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datosyeestadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>
23. Resquin F, Fariña I, Rachid C, Rava A, Doldán J. 2012. Influencia de la edad de corte en el pulpeo de *Eucalyptus globulus* plantado en Uruguay. Agrociencia (Uruguay). 16(2): 27-38. [En línea]. 10 abril 2018. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482012000200004
24. Granados D, López G. 2007. Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. Rev. Chapingo serie ciencias Forestales y del Ambiente. 13(2): 143-156. Chapingo, Estado de México. [En línea]. 5 octubre 2019. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182007000200143&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2007-4018.
25. Resquín F, De Mello J, Fariña I, Mieres J, Assandri L. 2005. Caracterización de la celulosa de especies del género *Eucalyptus* plantadas en Uruguay, Serie Técnica 152. Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA, Montevideo, Uruguay.
26. Toval G. 2010. Calidad de la madera en *Eucalyptus globulus* como materia prima para la industria pastero-papelera. Boletín de CIDEU 8-9:5-14. ISSN 1885-5237

27. Pérez CA, Bentancur O, Simeto S, Fros D, Altier N. 2010. Resistencia genética a las enfermedades: de la utopía a la realidad. INIA Serie actividades de difusión. 629: 57-66.
28. Hunter GC, Van der Merwe NA, Burgess TI, Carnegie AJ, Wingfield BD, Crous PW, Wingfield MJ. 2008. Global movement and population biology of *Mycosphaerella nubilosa* infecting leaves of cold-tolerant *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. Australas. Pl. Pathol. 57: 235-242. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01756.x>
29. Petraglia C, Dell'Acqua M. 2006. Actualización de la carta forestal del Uruguay con imágenes del año 2004. MGAP/DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal). 27p. [En línea]. 10 abril 2018. http://web.renare.gub.uy/media/cobertura/informes/CARTA_FORESTAL2004.pdf
30. Arriaga ME. 2021. Cartografía Forestal de bosques plantados 2021. OPYPA (Oficina de Programación y Política Agropecuaria). Análisis sectorial y cadenas productivas temas de política estudios. 471-484.
31. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal, UY). 2018. Cartografía Forestal 2018. [En línea]. 27 mayo 2017. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderiaagricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/ublicacionestaller_cartografia_5-07_2019.pdf
32. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal, UY). 2012 Imágenes Landsat TM

2011. [En línea]. 12 junio 2017. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/políticas-y-gestión/censo-general-agropecuario-2011>
33. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal, UY). 2004. Imágenes Landsat 5 del año 2004. [En línea]. 10 julio 2017. http://web.renare.gub.uy/media/cobertura/informes/CARTA_FORESTAL2004.pdf
 34. MGAP-DIEA. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2009. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo (Uruguay): 215 p.
 35. MGAP-DIEA. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2007. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo (Uruguay): 190 p.
 36. Boscana M. 2021. Vigésima encuesta de viveros forestales. Montevideo, Dirección General Forestal. 18 p. [En línea]. 12 diciembre 2020. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Informe_final_2.pdf
 37. Boscana M, Boragno L. 2019. Décima octava encuesta de viveros forestales, Año 2018. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal). 19 p.
 38. Boscana M, Boragno L. 2018. Décima séptima encuesta de viveros forestales, Año 2017. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal). 17 p.

39. Boscana M, Boragno L. 2017. Décima sexta encuesta de viveros forestales, Año 2016. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal). 16 p.
40. Bique F, Boscana M. 2016. Décima quinta encuesta de viveros forestales año 2014. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal). 13 p.
41. Bique F, Boscana M. 2015. Décima cuarta encuesta de viveros forestales año 2013. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal). 12 p.
42. Wingfield MJ, Slippers B, Hurley BP, Coutinho TA, Wingfield BD, Roux J. 2008. Eucalypt pests and diseases: Growing threats to plantation productivity. *South For*, 70: 139-144. doi: <https://doi.org/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.9.53>
43. Philibert A, Desprez-Loustau M, Fabre B, Frey P, Halkett F, Husson C, Makowski D. 2011. Predicting invasion success of forest pathogenic fungi from species traits. *J Appl Ecol*, 48: 1381-1390. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02039.x
44. Barnes I, Roux J, Wingfield BD, O' Neill M, Wingfield MJ. 2003. *Ceratocystis fimbriata* infecting *Eucalyptus grandis* in Uruguay. *Australas. Pl. Pathol.* 32(3): 361-366. doi: 10.1071/AP03032.
45. Soria S, Alonso R, Betucci L, Lupo S. 2014. First report of *Teratosphaeria pseudoecalypti* in Uruguay. *Australas. Pl. Dis. Plant Disease Notes.* 9(1): 146. doi: [10.1007/s13314-014-0146-x](https://doi.org/10.1007/s13314-014-0146-x)
46. Balmelli G, Simeto S, Altier N, Marroni V, Diez JJ. 2013a. Long term losses caused by foliar diseases on growth and survival of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. *New Forests* 44(2): 249-263. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-012-9314-z>.

47. Hunter GC, Crous PW, Carnegie AJ, Burgess TI, Wingfield MJ. 2011. *Mycosphaerella* and *Teratosphaeria* diseases of *Eucalyptus* easily confused and with serious consequences. Fungal Divers. 50: 145–166. doi: <https://doi.org/10.1007/s13225-011-0131-z>
48. Hunter GC, Crous PW, Carnegie AJ, Wingfield MJ. 2009. *Teratosphaeria nubilosa*, a serious leaf disease pathogen of *Eucalyptus* spp. in native and introduced areas. Mol. Plant Pathol. 10: 1–14. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00516.x>
49. Lupo S, Navarrete F, Alonso R, Carrau D, Bettucci L. 2008. *Mycosphaerella* species on *Eucalyptus* spp. plantations in Uruguay. VI Congreso Latinoamericano de Micología: libro de resúmenes, ALM 1.ª ed. Buenos Aires pp 253
50. Balmelli G, Simeto S, Martínez G, Torres D, Pérez C, Fros D, Bentancur O. 2009a. Incidencia y severidad de enfermedades y plagas en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* en las regiones sureste y litoral oeste de Uruguay. *INIA Serie Actividades de Difusión* 567, 51-65.
51. Balmelli G, Simeto S, Martínez G, Torres D, González P, Fros D, Bentancur O, Pérez C. 2009b. Relevamiento sanitario de otoño en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii* en el Sureste y Litoral Oeste. Seminario Técnico de Sanidad Forestal. INIA. Serie Actividades de Difusión; 594, 51- 72.
52. Carnegie AJ, Ades PK. 2002. The proportion of leaf spots caused by *Mycosphaerella cryptica* and *M. nubilosa* on *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* and their F1 hybrids in a family trial in Tasmania, Australia. *Australas Mycol.* 21:53-63. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00049158.2001.10676189>.

53. Park RF, Keane PJ, Wingfield MJ, Crous PW. 2000. Fungal diseases of eucalypt foliage. In: Keane PJ, Kile GA, Podger FD, Brown BN (eds.) Diseases and pathogens of eucalypts. *Forests is Forests* CSIRO, Clayton, 19-24.
54. Pérez G, Slippers B, Wingfield BD, Finkenauer E, Wingfield MJ. 2009b. *Mycosphaerella* leaf disease (MLD) outbreak on *Eucalyptus globulus* in Brazil caused by *Teratosphaeria (Mycosphaerella) nubilosa*. *Phytopathol. Mediterr.* 48: 302-306.
55. Balmelli G, Simeto S, Torres D, Castillo A, Altier N, Pérez G, Mac Gregor J, Peverelli A, Diez J. 2013b. Mejoramiento genético en *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii* por resistencia a *Teratosphaeria nubilosa*. V Jornada Técnica de Protección Forestal. INIA Serie Técnica 209, 55-65.
56. Cooke MC. 1981. Australian fungi. *Grevillea* 19:60-62.
57. Wingfield MJ, Brockerhoff EG, Wingfield BD, Slippers, B. 2015. Planted forest health: the need for a global strategy. *Science* 349(6250): 832-836. doi: [10.1126/science.aac6674](https://doi.org/10.1126/science.aac6674)
58. Pérez G, Slippers B, Wingfield B, Hunter G, Wingfield M. 2010. Micro-and macrosatial scale analyses illustrates mixed mating strategies and extensive geneflow in populations of an invasive haploid pathogen. *Mol. Ecol.* 19(9): 1801- 1813. doi: [10.1111/j.1365-294X.2010.04584.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04584.x).
59. Mansilla J, Aguín C, Otero L, Sainz O. 2013. Diversidad de especies de los géneros *Mycosphaerella* y *Teratosphaeria* en hojas juveniles y adultas de *Eucalyptus globulus* en Galicia. Congreso Forestal Español. Montes: Servicios y Desarrollo Rural. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 6: 2-8.

60. Pérez CA, Wingfield MJ, Altier NA, Blanchette RA. 2009b. *Mycosphaerellaceae* and *Teratosphaeriaceae* associated with *Eucalyptus* leaf diseases and stem cankers in Uruguay. *For. Pathol.* 39(5): 349–360. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0329.2009.00598.x>.
61. Pérez G, Hunter GC, Slippers B, Pérez C, Wingfield BD, Wingfield MJ. 2009a. *Teratosphaeria (Mycosphaerella) nubilosa*, the causal agent of *Mycosphaerella* leaf disease (MLD), recently introduced into Uruguay. *European J. of Plant Pathol.* 125(1): 109- 118. <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-009-9463-x>.
62. Smith AH, Wardlaw TJ, Pinkard EA, Ratkowsky DA, Mohammed CL. 2017. Impacts of *Teratosphaeria* leaf disease on plantation *Eucalyptus globulus* productivity. *For. Pathol.* 47(2), e12310. <https://doi.org/10.1111/efp.12310>
63. Maxwell A. 2004. The taxonomy, Phylogen and Impact of *Mycosphaerella* species on Eucalypts in South-Western Australia. Doctoral dissertation, Murdoch University Perth. 214p.
64. Mohammed CL, Wardlaw T, Smith ADM. 2003. *Mycosphaerella* leaf diseases of temperate eucalypts around the Southern Pacific Rim. *New Zeal J. For. Sci.* 33(3): 362-372. [En línea]. 10 abril 2018. https://www.academia.edu/19389592/Mycosphaerella_leaf_diseases_of_temperate_eucalypts_around_the_Southern_Pacific_Rim
65. Lundquist JE, Purnell RC. 1987. Effects of *Mycosphaerella* leaf spot on growth of *Eucalyptus nitens*. *Plant Dis.* 71: 1025-1029. doi: 10.1094/PD-71-1025.

66. Pinkard I, Mohammed C. 2005. Photosynthesis of *Eucalyptus globulus* with *Mycosphaerella* leaf disease. *New Phytol.* 170:119-127. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2006.01645.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01645.x)
67. Smith A. 2006. The development of strategies for the management and research of foliar pathogens on eucalypt plantations: Using *Mycosphaerella* as a case study. PhD thesis. University of Tasmania, Australia. 215 p.
68. Smith AH, Potts BM, Ratkowsky DA, Pinkard EA, Mohammed CL. 2018. Association of *Eucalyptus globulus* leaf anatomy with susceptibility to *Teratosphaeria* leaf disease. *For. Pathol.* 48(2), e12395. doi: [10.1111/efp.12395](https://doi.org/10.1111/efp.12395)
69. Carnegie AJ, Ades PK. 2003. *Mycosphaerella* leaf disease reduces growth of plantation-grown *Eucalyptus globulus*. *Aust For* 66(2):113-119. doi: <https://doi.org/10.1080/00049158.2003.10674900>
70. Pérez CA, Martínez G, Simeto S, Torres-Dini D, Palladino C, Langone F, Bentancur O, Balmelli G. 2013. Prospección sanitaria en plantaciones jóvenes de eucalipto: primavera 2008/otoño 2012. *INIA Serie Técnica*, 209: 23–28
71. Simeto S, Balmelli G, Martínez G, Torres D, González P, Fros D, Bentancur O, Pérez CA. 2010. Relevamiento sanitario de *Eucalyptus* spp. en el Sureste y Litoral Oeste del país. En: *Jornada Técnica de Protección Forestal*. Las Brujas: INIA. Serie Actividades de Difusión; 629: 41-51.
72. Balmelli G, Simeto S, Torres D, Castillo A, Altier N, Diez JJ. 2014b. Susceptibility to *Teratosphaeria nubilosa* and precocity of vegetative phase change in *Eucalyptus globulus* and *E. maidenii*

- (*Myrtaceae*). Austral. J. Bot. 61(8): 583-591. DOI: [10.1071/BT13225](https://doi.org/10.1071/BT13225)
73. Balmelli G, Simeto S, Torres D, Hirigoyen A, Castillo A, Altier N, Pérez G, Diez J. 2016. Impact of *Teratosphaeria nubilosa* over tree growth and survival of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maidenii* in Uruguay. *New Forests*. 47(6): 829-843. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-016-9547-3>.
74. Carnegie AJ, Ades PK, Keane PJ, Smith IW. 1998. *Mycosphaerella* diseases of juvenile foliage in a eucalypt species and provenance trial in Victoria, Australia. *Aust For*. 61(3):190-194. doi: <https://doi.org/10.1080/00049158.1998.10674739>
75. Carnegie AJ, Keane PJ, Ades PK, Smith IW. 1994. Variation in susceptibility of *Eucalyptus globulus* provenances to *Mycosphaerella* leaf disease. *Can. J. For. Res.* 24(9), 1751-1757. doi: <https://doi.org/10.1139/x94-226>
76. Balmelli G, Simeto S, Altier N, Núñez P, González W. 2008. Enfermedades foliares en *Eucalyptus globulus*: efectos sobre la mortalidad, el crecimiento y la incidencia de enfermedades del fuste al quinto año. *Serie Actividades de Difusión INIA*, 542:49- 61
77. Carnegie AJ. 2007. Forest health condition in New South Wales, Australia 1996-2005. II. Fungal damage recorded in eucalypt plantations during forest health surveys and their management. *Australas. Pl. Pathol.* 36:225-239. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/AP07021>
78. Pinkard I, Mohammed C, Battaglia M, Wardlaw T, Stone C, Smethurst P, Baillie C, Patel V. 2006. Fertilization and Forest Health: Preventing or offsetting biotic leaf loss in eucalypt

- plantations. CRC for Sustainable Production Forestry. University of Tasmania. Final Report Project N° PN04.4003. 148 p.
79. Carnegie AJ, Ades PK. 2001. Added phosphorus is associated with reduced severity of *Mycosphaerella cryptica* in *Eucalyptus globulus*. Aust For 64: 203-208. doi: <https://10.1080/00049158.2001.10676189>
 80. Stone C. 2001. Reducing the impact of insect herbivory in eucalypt plantations through management of extrinsic influences on tree vigour. Austral Ecol. 26: 482-488. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2001.01143.x>
 81. Stone C, Matsuki M, Carnegie, A. 2003. Pest and disease assessment in young eucalypt plantations: field manual for using the Crown Damage Index. Canberra: Parsons, M. National Forest Inventory, Bureau of Rural Sciences. 30 p.
 82. Alonso R, Soria S, Lupo S, Bettucci L, Pérez C. 2013. Alternativas de manejo de enfermedades foliares en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus*. INIA Serie Técnica n.º 209. 39-44.
 83. Alfenas AC, Zauza E, Mafia R, Assis T. 2004. Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa, (Universidade Federal do Viçosa: Viçosa, MG, Brazil).
 84. Pérez CA, Fros D, Altier N, Pérez G, Wingfield M, Blanchette R. 2009a. Identificación de especies fúngicas asociadas a manchas foliares y canchros en *eucalyptus*. INIA Serie actividades de difusión. (567): 19-24.
 85. Manion P. 1991. Disease control through genetic resistance. In: Tree disease concepts. Prentice-Hall, New Jersey. 399: 361-369.

86. Milgate AW, Potts BM, Joyce K, Mohammed C, Vaillancourt RE. 2005. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. *Australas. Pl. Pathol.* 34(1): 11-18. doi: <https://doi.org/10.1071/AP04073>
87. Balmelli G, Simeto S, Marroni V, Altier N, Diez JJ. 2014a. Genetic variation for resistance to *Mycosphaerella* leaf disease and *Eucalyptus* rust on *Eucalyptus globulus* in Uruguay. *Australas. Pl. Pathol.* 43(1): 97-107. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13313-013-0254-7>.
88. Andjic V, Carnegie AJ, Pegg GS, Hardy GS J, Maxwell A, Crous PW & Burgess TI. 2019. 23 years of research on *Teratosphaeria* leaf blight of *Eucalyptus*. *For. Ecol. Manag.* 443, 19- 27. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.013>
89. Arriaga ME. 2018. Resultados de la cartografía forestal nacional. DGF (Dirección General Forestal, Ministerio de Agricultura y Pesca). 21 p.
90. Ansuberro J, Morales V, Pintos M, Pérez G. 2015. Si. La producción de *Eucalyptus globulus* tuvo un antes y un después de la introducción de un patógeno foliar *Teratosphaeria nubilosa* en Uruguay. III Jornada Nacional de Fitopatología y I Jornada nacional de Protección vegetal. Montevideo, Uruguay. 42p. [En línea]. 3 abril 2018. <http://www.sufit.org.uy/wp-content/uploads/2018/06/Libro-SUFIT-sin-PORTADA-3.pdf>.

3. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE *T. nubilosa* SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE PLANTACIONES COMERCIALES DE *E. globulus* (L.)

Pintos Mariana*¹, Rachid Cecilia², Pérez Carlos A³

¹Polo Desarrollo Universitario, Espacio de Biología vegetal. Sede Tacuarembó, Cenur Noreste, Universidad de la República. Ruta 5, km 386, Tacuarembó. Uruguay.

²Programa Forestal, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ruta 5, km 386, Tacuarembó. Uruguay.

³Departamento de Protección Vegetal. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Estación Experimental «Dr. Mario Alberto Cassinoni». Ruta 3, km 363, Paysandú. Uruguay.

*Artículo escrito bajo el formato de la revista *Agrociencia Uruguay*.

3.1. RESUMEN

El arribo de *Teratosphaeria nubilosa* impactó drásticamente la producción de *Eucalyptus globulus* Labill en Uruguay, sin embargo es escasa la información respecto a las pérdidas en crecimiento. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de la enfermedad sobre la productividad de plantaciones de *E. globulus* mediante modelación y simulación del crecimiento con distintos niveles de enfermedad. Para ello, se midió diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total en plantaciones con 7 años y se calculó volumen individual. Esta información fue utilizada para el ajuste de modelos lineales y no lineales mixtos que permitieran estimar DAP medio, altura total media del rodal y volumen por hectárea, relacionando parámetros de crecimiento con Índice de Daño Copa (IDC) a los 6, 12 y 24 meses de edad. Los resultados indicaron aporte significativo del IDC12 ($P < 0,05$) con DAP y volumen (variables predictoras), presentando relación negativa. El crecimiento estimado a los 7 años mediante modelación con IDC = 0 (sin daño de copa) fue mayor respecto al crecimiento observado (14,5 vs. 13,1 cm para DAP y 116,5 vs. 93,7 m³/ha para volumen, respectivamente). Las diferencias en volumen (en términos relativos) indicaron mayores reducciones de crecimiento en los cuartiles extremos (Q1 y Q4), no obstante, el impacto productivo en Q4 (alta productividad) fue mayor, dado que las pérdidas absolutas en m³ fueron mayores (38,8 m³/ha), en función de la mayor productividad de las plantaciones. Este trabajo permitió una estimación del efecto negativo de TLD sobre *E. globulus* en Uruguay, y sugiere que las pérdidas de crecimiento varían con el índice de sitio, siendo mayor en el Q4.

Palabras clave: patógeno foliar, *Eucalyptus*, reducción del volumen, índice de daño de la copa

Estimation of the impact of *T. nubilosa* on the production of wood from commercial plantations of *E. globulus* (L.)

3.2. SUMMARY

The arrival of *Teratosphaeria nubilosa* drastically impacted the production of *Eucalyptus globulus* Labill in Uruguay, however, information regarding growth losses is scarce. The objective of this work was to quantify the effect of the disease on the productivity of *E. globulus* plantations through modeling and simulation of growth with different levels of disease. For this, diameter at breast height (DBH) and total height were measured in 7 year old plantations and individual volume was calculated. This information was used to adjust linear and non-linear mixed models that would allow estimating DBH average, total height average of the stand and volume per hectare, relating growth parameters with the Crown Damage Index (IDC) at 6, 12 and 24 months old. The results indicated a significant contribution of the IDC12 ($P < 0.05$) with DBH and volume (predictor variables), presenting a negative relationship. The estimated growth at 7 years by modeling with IDC = 0 (without crown damage) was higher than the observed growth (14.5 vs. 13.1 cm for DAP and 116.5 vs. 93.7 m³/ha for volume, respectively). The differences in volume (in relative terms) indicated greater reductions in growth in the extreme quartiles (Q1 and Q4), however, the productive impact in Q4 (high productivity) was greater, since the absolute losses in m³ were greater (38.8 m³/ha), depending on the higher productivity of the plantations. This work allowed an estimation of the negative effect of TLD on *E. globulus* in Uruguay, and suggests that growth losses vary with site index, being higher in Q4. **Keywords:** foliar pathogen, *Eucalyptus*, volume reduction, crown damage index

Estimação do impacto de *T. nubilosa* na produção de madeira de plantações comerciais de *E. globulus* (L.)

3.3. RESUMO

A chegada de *Teratosphaeria nubilosa* impactou drasticamente a produção de *Eucalyptus globulus* Labill no Uruguai, porém há poucas informações sobre perdas de crescimento. O objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito da doença na produtividade de plantações de *E. globulus* por meio de modelagem e simulação de crescimento com diferentes níveis de doença. Para isso, foram medidos o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total em plantios com 7 anos de idade e calculado o volume individual. Essas informações foram utilizadas para ajustar modelos mistos lineares e não lineares que permitissem estimar DAP médio, altura total média do talhao e volume por hectare, relacionando os parâmetros de crescimento com o Índice de Dano de Coroa (IDC) aos 6, 12 e 24 meses de idade. Os resultados indicaram contribuição significativa do IDC12 ($P < 0,05$) com DAP e volume (variáveis preditoras), apresentando relação negativa. O crescimento estimado aos 7 anos pela modelagem com IDC = 0 (sem dano de copa) foi superior ao crescimento observado (14,5 vs. 13,1 cm para DAP e 116,5 vs. 93,7 m³/ha para volume, respectivamente). As diferenças de volume (em termos relativos) indicaram maiores reduções de crescimento nos quartis extremos (Q1 e Q4), porém o impacto produtivo no Q4 (alta produtividade) foi maior, pois as perdas absolutas em m³ foram maiores (38,8 m³/ha), dependendo da maior produtividade dos plantios. Este trabalho permitiu estimar o efeito negativo do TLD em *E. globulus* no Uruguai e sugere que as perdas de crescimento variam com o índice do local, sendo maiores no quarto trimestre.

Palavras-chave: patógeno foliar, *Eucalyptus*, redução de volume, índice de danos na copa

3.4. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae) es una de las especies preferidas en el mundo para la producción de pulpa de celulosa⁽¹⁾. Por esta razón fue extensamente plantada en Uruguay, siendo la especie predominante hasta 2011, ocupando más de 300.000 ha⁽²⁾.

En 2007 se reportó por primera vez en Uruguay la mancha foliar causada por *Teratosphaeria nubilosa* (TLD), observada en primera instancia en el litoral oeste en plantaciones de *E. globulus*⁽³⁾. Inicialmente, produce manchas necróticas en las hojas juveniles y posteriormente, defoliación prematura⁽⁴⁻⁵⁾. En casos de infecciones muy severas, se ha observado distorsiones en tallos y ramas, y la muerte de brotes apicales e incluso árboles⁽⁶⁾⁽⁴⁾⁽¹⁾⁽⁷⁾.

Los resultados obtenidos respecto a prospecciones de enfermedades realizadas en plantaciones jóvenes de *E. globulus* (menores a 2 años de edad) en Uruguay indicaron que TLD era la enfermedad predominante⁽⁸⁻¹²⁾. Por su parte⁽¹³⁾ menciona que TLD es la enfermedad más frecuente y grave en *E. globulus* de 1 y 2 años en el suroeste de Australia.

Respecto a los daños⁽¹⁴⁾ determinaron que infecciones de TLD superiores al 10 % de infección resultó en un 17 % de reducción en la altura de *E. globulus*. Otros⁽⁶⁾⁽¹⁵⁾ indican que a partir de un 25 % de daño foliar se producen reducciones significativas en el crecimiento. Por su parte⁽¹¹⁾ cuantificaron daño de copa del 35,9 % en plantaciones jóvenes (menores a 2 años) de *E. globulus* en Uruguay. A su vez⁽¹⁶⁻¹⁷⁾ sostienen que esta enfermedad afectó severamente las plantaciones jóvenes de *E. globulus* y,

por consiguiente, ha limitado la elección de *E. globulus* como especie a plantar.

Para el período 2013-2017 se redujo la producción anual de plantines de *E. globulus* en el orden del 73 %⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ y se plantaron tan solo 94 ha en 2019⁽²⁰⁾. Actualmente, la superficie efectiva forestada con *E. globulus* es menor a 103.639 ha, dado que ese total incluye *E. maidenii* y *E. bicostata*⁽²¹⁾.

Con la finalidad de disminuir los efectos de TLD en eucaliptos, se han propuesto diferentes medidas de manejo, entre las que se mencionan: el incremento del vigor y la tolerancia de los árboles al manejo silvicultural, la aplicación de activadores de las defensas de la plantas⁽²²⁻²³⁾, la elección del sitio (evitando plantar en sitios de alto riesgo de infección)⁽²⁴⁾, la aplicación de fungicidas⁽¹⁶⁾⁽²⁵⁾ y la refertilización⁽²⁴⁾. Sin embargo, estas alternativas presentan limitaciones económicas, ambientales y operacionales, por lo que resultan poco eficientes para el control de *T. nubilosa* en plantaciones a escala comercial. La forma más efectiva para reducir el daño de esta enfermedad se basa en la utilización de resistencia genética⁽²⁶⁻³⁰⁾.

En la actualidad, la mayoría de los estudios que estiman el daño provocado por la enfermedad en el crecimiento han sido realizados en los primeros años de vida de las plantaciones⁽²⁷⁾⁽⁸⁾⁽³¹⁾⁽¹⁰⁻¹²⁾. Por lo tanto, no hay antecedentes que determinen el efecto de TLD a turno final para las condiciones de Uruguay. Los altos niveles de daño de copa observados⁽⁹⁾ y la amplia distribución del problema en Uruguay demuestran la necesidad de estudiar el efecto de TLD sobre el crecimiento en plantaciones de *E. globulus*.

Al analizar la productividad en madera de *E. globulus* antes del ingreso de TLD, se observó que ha sido muy variable según la fuente

consultada (cuadro 1). Esto se explica, en parte, porque casi toda la información recopilada corresponde a ensayos de comportamiento de orígenes, donde los resultados muestran marcadas diferencias en crecimiento (15 a 33,1 m³/ha/año de incremento medio anual - IMA) para las plantaciones de *E. globulus* pertenecientes a la zona CIDE 2 (sureste). En esta zona encontramos los siguientes suelos de la clasificación de CONEAT⁽³²⁾: 2.11A, 2.11B, 2.12 y 2.14. Los suelos mencionados fueron incluidos en los decretos reglamentarios de la Ley Forestal N.º 15.939⁽³³⁾.

Cuadro 1. Productividad de *E. globulus* en plantaciones previas al 2007 en Uruguay.

Especie	Edad	Zona	Rendimiento (m ³ /ha)	IMA* (m ³ /ha/año)	Referencia
<i>E. globulus</i>	9	2	214	23.7	(34)
<i>E. globulus</i>	10,9	2	361	33.1	(33)
<i>E. globulus</i>	10	2	150	15	(35)
<i>E. globulus</i>	9,8	2	223	22.7	(36)

* IMA (incremento medio anual)

Dada la limitada información respecto a la productividad de *E. globulus* previo al ingreso de *T. nubilosa*, se realizó modelación del crecimiento, con la finalidad de comparar la producción de *E. globulus* con y sin daño.

Con base en lo mencionado anteriormente, el presente estudio tuvo como objetivo estimar la reducción en las tasas de crecimiento y en el volumen en pie causada por las epidemias de TLD en plantaciones comerciales de *E. globulus*. Los objetivos específicos fueron: i) Ajustar un modelo que mejor estime el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura (H) y volumen/ha en base a datos de parcelas de inventario incluyendo el nivel de daño como variable predictora. y ii) cuantificar la reducción en productividad causada por la enfermedad con base en el modelo desarrollado, estableciendo un daño cero.

3.5. MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1. Caracterización del área de estudio

Para estimar el crecimiento de plantaciones comerciales de *E. globulus*, en julio de 2015 se realizaron muestreos en plantaciones de 7 años de edad, cuyo índice de daño de copa (IDC) causado por *T. nubilosa* fue determinado por Balmelli y otros⁽⁹⁾ cuando la plantación tenía 6, 12 y 24 meses de edad.

Se inventarió un total de 66 parcelas ubicadas en el sureste de Uruguay, distribuidas en los departamentos de Rocha, Lavalleja y Florida (figura 1).

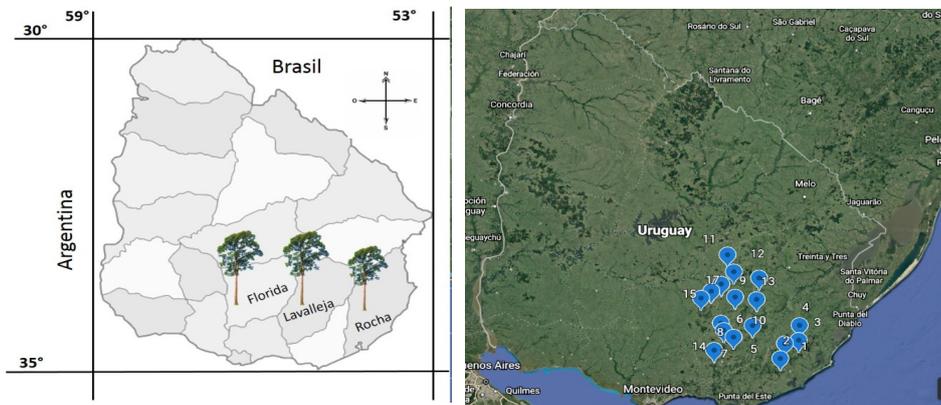


Figura 1. Ubicación de las parcelas de inventario.

La mayor proporción de parcelas estuvo ubicada en el departamento de Lavalleja (59 %) y fue predominantemente de origen seminal (cuadro 2). Respecto a los orígenes seminales, Jeerelang (JEE) fue el origen con mayor número de parcelas muestreadas (34) seguido por Chumulco (8) y Cowwar (4). De los orígenes clonales, el clon Odiel representó la mayor parte de parcelas muestreadas (4).

Cuadro 2. Descripción de sitios evaluados

Departamento	Cantidad		Origen		Densidad (arb/ha)
	Establecimientos	Parcelas	Seminal	Clonal	
Florida	3	11	9	2	1.018-1.148
Lavalleja	10	39	36	3	735-1.163
Rocha	4	16	8	8	740-1.123

Las parcelas incluidas en el presente estudio se ubicaron en suelos 2.12 (23 parcelas), 2.11a (17 parcelas), 2.11b (10 parcelas) y 2.21 (9 parcelas); el resto de las parcelas comprende suelos 2.14, 9.80 y 5.30⁽³²⁾ (cuadro 3).

Los suelos 2.12 ocurren sobre sierras no rocosas de relieve ondulado con afloramientos y pendientes, en su mayoría arenoso-francos y francos superficiales, moderadamente profundos⁽³²⁾. Los suelos 2.11a son arenoso-franco gravillosos, superficiales y pedregosos. Ocupan la región sur (departamentos de Lavalleja, Maldonado, Rocha y parte de Treinta y Tres) sobre sierras rocosas con paisaje de pendientes. Los suelos 2.11b, son muy superficiales y pedregosos, ocurren en sierras rocosas (entre el 10 y el 40 % del área con roca expuesta) presentando fuertes pendientes⁽³²⁾.

Cuadro 3. Suelos predominantes por grupo CONEAT

Departamento	N.º sitios	Suelos*
Florida	11	2.11a (6); 2.12 (3); 2.11b (1)
Lavalleja	39	2.11a (10); 2.12 (11); 2.14 (2); 2.21 (8); 2.11b (6); 5.2 (1); 9.8 (2);
Rocha	16	2.12 (12); 2.11b (3); 2.11a (1)

*Grupo de suelo con mayor número de sitios muestreados

3.5.2. Colecta de datos para determinación del crecimiento a la edad de 7 años

Las mediciones se realizaron en los mismos puntos georreferenciados por Balmelli y otros⁽¹¹⁾, de forma de poder asociar el IDC con el crecimiento de los árboles en los puntos estudiados. Cada parcela tuvo 10 m de radio (314 m²), midiéndose el diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm) y altura total (H) (m) de todos los árboles comprendidos dentro de esta. Para la medición de DAP se utilizó una forcípula de brazos paralelos de 80 cm ± 1 mm y para la medición de la H se utilizó un hipsómetro Höglof. La sobrevivencia se estimó con base en la población actual dividida la población original, estimada sobre la base del marco de plantación.

3.5.3. Cálculo y desarrollo de variables

A cada individuo dentro de la parcela se le calculó el volumen individual observado al año 7 mediante la ecuación de Morás y Vallejos-Barra⁽³⁷⁾.

$$\text{Ln}(vt) = -9,75 + 0,93 * \text{Ln} (\text{DAP}^2 * h_t) \quad (1)$$

Donde: vt = volumen individual de cada árbol en m^3 , DAP = diámetro con corteza a la altura del pecho en cm, h_t = altura total del árbol en m.

Posteriormente, se sumó el volumen individual de cada árbol dentro de la parcela para obtener el volumen total por parcela, y luego expandirlo por unidad de superficie, para obtener el volumen en m^3/ha al año 7.

Además, se ajustaron ecuaciones para la estimación de DAP medio, altura total media y volumen por ha.

Como variables independientes de rodal se definieron DAP , altura total, área basal por hectárea, altura media dominante y número de árboles por hectárea (todas variables de tipo cuantitativas). Para la altura media dominante — h_{dom} — se utilizó el criterio de Assman⁽³⁸⁾ definida como el promedio de la altura de los 100 árboles por hectárea de mayor DAP . Se utilizó la ecuación de García⁽³⁹⁾ (2) para conocer el número de árboles de mayor DAP que deben usarse para calcular h_{dom} (en función del tamaño de la parcela), evitando así errores de sobrestimación.

$$N = 160 * \text{Área parcela (ha)} - 1.4 \quad (2)$$

Donde: n (número de árboles a considerar para computar la h_{dom})

También se calculó área basal de la parcela (G) partiendo de la información de DAP de cada individuo muestreado. Para el daño de copa se evaluaron cuatro variables: IDC a los 6, 12 y 24 meses (IDC6, IDC12; IDC24) y el área debajo de la curva (AUDPC). En cuanto al IDC, se utilizaron las determinaciones realizadas por Balmelli y otros⁽¹¹⁾, en los mismos puntos georreferenciados donde se realizó cada parcela. El índice de daño de copa (IDC) desarrollado para cuantificar el daño en las plantaciones jóvenes de eucalipto se estimó con base en la severidad de manchas foliares y a la defoliación (porcentaje de hojas caídas)⁽⁴⁰⁾. Ambos parámetros fueron medidos mediante escalas visuales adaptadas de Lundquist y Purnell⁽¹⁵⁾. El IDC toma valores de 0 a 100, adaptado de Stone y autores⁽⁴¹⁾, calculado como:

$$\text{IDC} = \text{Defoliación} + ((1 - \text{Defoliación}/100) \times (\text{Incidencia} \times \text{Severidad})/100)$$

Donde: defoliación (D) porcentaje de hojas abscisas prematuramente, incidencia (I) porcentaje de hojas que presentan al menos una mancha y severidad (S) porcentaje de área foliar afectada por manchas⁽⁴¹⁾.

El AUDPC es calculado a partir del % estimado del área foliar enferma registrado en diferentes momentos de la epidemia, integrando la cantidad de enfermedad en el tiempo⁽⁴²⁾.

Dados los diferentes materiales genéticos en las plantaciones estudiadas, se evaluó a la genética como variable predictora en las ecuaciones. Con relación a esta variable, debido a que es una variable de tipo categórica o cualitativa (con dos o más categorías), se buscó disminuir el número de categorías con el propósito de desarrollar un modelo sencillo para modelar la producción de madera. Para ello, se ordenaron los diferentes materiales genéticos (siete seminales y seis clonales) según volumen por hectárea, con la finalidad de unificar y clasificar aquellos materiales genéticos más parecidos respecto a productividad.

Como los datos de la variable genética eran desbalanceados, se realizó un análisis de varianza de tipo III para volumen (ver resultado de ANOVA en anexo 1), utilizando la genética como factor de variación; en los casos en los que no hubieron diferencias significativas se realizó separación de medias por test de Duncan (anexo 1). Para incluir a la variable genética en la ecuación se agruparon por categorías de rendimiento volumétrico a los genotipos (en base al orden establecido en el test de Duncan) generando nuevas variables.

De todas las categorizaciones posibles G_0 fue la que mostró mejores resultados. Para su implementación G_0 toma como nivel alto a las categorías «a y ab» del test de Duncan y nivel bajo a «b».

3.5.4. Modelación y desarrollo de ecuaciones

Se ajustaron modelos lineales mixtos para el desarrollo de ecuaciones de DAP y H, y modelos no lineales mixtos para el desarrollo de la ecuación de volumen total por hectárea. Los modelos mixtos estiman tanto los valores esperados de las observaciones, llamados efectos fijos, como las varianzas y covarianzas de las observaciones (efectos aleatorios), y permiten analizar datos de carácter longitudinal como correlacionados, incompletos y con intervalos entre observaciones no constantes⁽⁴³⁻⁴⁴⁾. Estos modelos se caracterizan por usar de forma combinada efectos fijos, comunes a toda la población, y efectos aleatorios específicos de cada unidad de muestreo⁽⁴⁵⁻⁴⁶⁾.

Para el desarrollo de ecuaciones del presente estudio, se definió como efecto aleatorio al establecimiento, asumiendo que los rodales dentro de cada establecimiento comparten condiciones de crecimiento más semejantes entre sí, que entre establecimientos.

Para el desarrollo de los modelos, se utilizó el software R-Studio⁽⁴⁷⁻⁴⁸⁾, siendo ajustados por el método de mínimos cuadrados⁽⁴⁹⁾.

3.5.4.1. *Modelación de DAP y H*

A partir de modelos lineales mixtos, se desarrollaron las ecuaciones de DAP y H :

$$Y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) + (\beta_1 + b_{1i})X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (3)$$

Donde: Y_{ij} = Variable dependiente; β_0 = el intercepto, b_{i0} = efecto aleatorio asociado al intercepto (término de intersección); β_1 = es el parámetro de la variable independiente (pendiente), X_{ij} = variable independiente; ϵ_{ij} = error asociado al modelo.

Para el desarrollo de las ecuaciones se introdujeron todas las variables en la ecuación y después se fueron excluyendo una tras otra por el método *backward*. Esta metodología va eliminando en cada etapa la variable de efecto no significativo (que presente menor correlación) según el contraste individual (de la t).

3.5.4.2. Modelación de volumen por hectárea

Para el desarrollo de ecuaciones de volumen total por hectárea, se tomó como base el modelo exponencial ajustado por Methol⁽³³⁾, también utilizado por Hirigoyen y autores⁽⁵⁰⁾.

Se probaron todas las variables dasométricas, de enfermedad y genéticas mediante metodología *stepwise* en RStudio, seleccionando solo las significativas. Tomando como referencia lo publicado por Methol⁽⁵¹⁻⁵²⁾⁽³³⁾ y Rachid e Hirigoyen⁽⁵³⁾, el modelo base a partir del cual se desarrollaron las ecuaciones exponenciales para el volumen total fue el siguiente:

$$Y_i = e^{[(\beta_0 + b_{0i}) + (\beta_1 + b_{1i})x_i]} + \epsilon_i \quad (4)$$

Donde: Y = variable dependiente, β_0 = es el intercepto, b_{i0} = efecto aleatorio asociado al término de intersección, β_1 = es el parámetro de la variable independiente (pendiente), b_{1i} = efecto aleatorio de la pendiente, x_i = es la variable independiente y ε_i = error asociado al modelo

3.5.4.3. Metodología utilizada para el ajuste de las ecuaciones de DAP, H y volumen

Durante el ajuste de las ecuaciones se corroboró:

1. Ausencia de multicolinealidad (o independencia entre las variables del modelo). Para cuantificar la intensidad de la multicolinealidad, se utilizó el factor de inflación de la varianza (VIF). El VIF mide hasta qué punto la varianza de un coeficiente de regresión estimado se incrementa a causa de la colinealidad.

2. Normalidad de los residuos observable en los gráficos de histograma y Q-Q plot. Este análisis supone que los residuos están distribuidos normalmente con un valor esperado igual a cero, varianza constante y sin correlación.

3. Análisis gráfico de residuos para verificar homocedasticidad (igual varianza entre residuos) y ausencia de sesgo en la estimación, sobre la base de que sin homocedasticidad los estimadores no son eficientes. El análisis gráfico de los residuos fue realizado por medio de la observación de su distribución en función de los valores de las estimaciones.

4. Detección de outliers mediante test de Bonferroni. En este procedimiento se fijó un nivel de significancia α que se reparte entre cada

una de las comparaciones consideradas. La corrección de Bonferroni sometió a prueba cada uno de los contrastes a un nivel de significancia de α/n . La prueba permitió controlar el error tipo I de los contrastes de manera simultánea. Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión⁽⁵⁴⁾:

$$c = k(k-1)/2 \quad (5)$$

Donde: c es la corrección de Bonferroni y k es el número de tratamientos a comparar.

Una vez realizadas las comprobaciones estadísticas, se seleccionó aquellos modelos que, además de cumplir con los supuestos, mostraran el mejor desempeño según los estadísticos de bondad de ajuste⁽⁵⁵⁾. Para que las ecuaciones elegidas tengan sus estimaciones confiables, su selección se basó en un mayor coeficiente de determinación (R^2), mayor valor del índice de Willmott (d), ausencia de multicolinealidad, menor error cuadrático medio (RMSE), menor error estándar de estimación en porcentaje ($Syx\%$) y en un análisis gráfico para comprobar los supuestos del modelo y determinar cuán bueno fue su ajuste. A continuación se detalla la forma de obtención:

— Raíz del error cuadrático medio (RMSE), el cual analiza la precisión de las estimaciones y es una medida absoluta de ajuste⁽⁵⁶⁾. Compara un valor predicho y un valor observado o conocido y además indica el ajuste absoluto del modelo a los datos (cuán cerca están los valores observados de los valores predichos del modelo). Los valores más bajos de RMSE indican un mejor ajuste.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (6)$$

Donde: \hat{Y}_i corresponde a valores predichos, Y_i , a valores observados y n es el número de observaciones.

— Coeficiente de determinación (R^2). Representa la fracción de la variación dependiente que es explicada por el modelo, teniendo en cuenta el número total de parámetros a estimar y el número de observaciones.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

Donde: \hat{Y}_t es el valor estimado del modelo, \bar{Y} es el valor medio de la variable Y , Y_t es el valor real.

— Residual medio, utilizado como medida de sesgo. Es el promedio de las diferencias entre los valores observados de la variable dependiente y los valores proyectados por la ecuación de regresión.

Otros indicadores usados para valorar la bondad del modelo fueron: el índice de Willmott (d) y el porcentaje del error estándar de estimación (Sy_x %). El índice de Willmott (d) mide la precisión de un modelo en función de la relación de los valores estimados vs. los observados^(57,58). El origen d está acotado por 0 (significa que no hay ajuste) y 1 (ajuste perfecto)⁽⁵⁹⁾ y se calcula como:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (Ye - Y)^2}{\sum (|Ye - \bar{Y}| + |Y - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (8)$$

Donde: Ye es el valor estimado, Y es el valor observado, \bar{Y} es la media de los valores observados.

El error estándar de la estimación indica la disparidad o dispersión entre los valores observados y estimados por la regresión, siendo deseable aquel que posee el menor valor. Este valor también mide la precisión del ajuste del modelo matemático.

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (9)$$

Donde: S_{yx} es el error estándar de estimación, \bar{Y} es la media de los valores observados.

3.5.5. DAP y Volumen estimados sin daño de copa y análisis comparativo

Para estimar el DAP medio y volumen por hectárea sin daño de copa, se utilizaron las ecuaciones ajustadas para los datos del muestreo, simulando un IDC igual a cero. Posteriormente, se compararon las diferencias de crecimiento para DAP y volumen con y sin daño en función del índice de daño registrado a los 12 meses. Además, se definieron cuartiles de índice de sitio y se analizó el índice de daño, así como las pérdidas en crecimiento en función de dichos cuartiles con el fin de identificar alguna relación entre el efecto del daño y la calidad del sitio y, a su vez, poder determinar si las mayores diferencias en crecimiento estaban dadas por mayores niveles de daño.

Para ello se definieron cuatro cuartiles (Q1, Q2, Q3 y Q4) con base en la h_{dom} . El Q1 corresponde a los sitios con menor h_{dom} y el Q4 a los sitios con mayor h_{dom} .

3.6. RESULTADOS

3.6.1. Caracterización estadística de las variables explicativas

Los resultados muestran una gran dispersión de datos para las variables densidad (árboles/ha) y área debajo de la curva (AUDPC). Al analizar el índice de daño de copa a los 6, 12 y 24 meses (IDC6, IDC12 y IDC24, respectivamente), se observó que los desvíos no presentan diferencias; en cambio, el coeficiente de variación es mayor para los primeros registros de enfermedad (IDC6), explicado por el amplio rango de datos obtenidos, respecto a IDC12 e IDC24 (cuadro 4). Respecto a la distribución del daño, los resultados gráficos de histogramas indicaron una mayor distribución del daño para IDC12 respecto a IDC6 y IDC24 (anexo: figura 2a, 2b y 2c); dicha información fue de utilidad para estudiar el efecto del IDC en la ecuación.

Las variables de genotipos por categorías de rendimiento volumétrico G3 y G₀ fueron estadísticamente significativas (*p*-valor < 0,01) en la ecuación de DAP medio, lo que indica que el aumento en DAP se ve afectado por el material genético. Cabe destacar que la variable G₀ (dos categorías) mostró mejores resultados estadísticos (R² 0,76, RMSE 0,8) y de análisis gráfico respecto a la variable G3 (tres categorías) (R² 0,76, RMSE 0,78). Para las otras dos variables dependientes modeladas (altura total media y volumen por hectárea), la variable genética no presentó valores significativos.

Cuadro 4. Estadística descriptiva de las variables usadas en la modelación.

	Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar	CV%
N (n.º árboles /ha)	509	935	1273	188,7	20
H (m)	9,65	13,82	20,03	2,5	18
h_{dom} (m)	11,45	17,15	25,27	2,7	15
DAP (cm)	11,79	14,45	19,51	1,6	11
G (m ² /ha)	8,66	15,30	23,91	3,4	22
IDC 6 (%)	1,2	11,70	63,08	12,2	103
IDC 12 (%)	16,58	44,62	74,05	13,8	30
IDC 24 (%)	29,2	75,05	92,2	10,5	13.8
AUDPC	618,6	931,6	1483	190,5	20
V (m ³ /ha)	14,95	93,64	191,14	37,41	39

3.6.2. Modelo ajustado para diámetro medio del rodal

El factor de inflación de la varianza (VIF) calculado durante el ajuste de DAP evidenció multicolinealidad de AUDPC con otras variables (VIF > 10), por lo que se eliminó esta variable del análisis y no fue incluida en el

modelo. Los resultados del resumen del modelo indican que, de todas las variables de daño utilizadas, solo el IDC12 fue estadísticamente significativo (p -valor = 0,017 con base en los datos del estadístico t), lo que indica que existe un efecto de la enfermedad en el incremento de DAP. Al comparar los resultados estadísticos y el desempeño de la ecuación, se observó que la inclusión de las variables que representan el factor genético mejoraron el ajuste (R^2 : 0,76, RMSE: 0,8) respecto a la ecuación que no incluyó a la genética como variable (R^2 : 0,71, RMSE: 0,85).

La ecuación seleccionada para estimar DAP fue la siguiente:

$$\text{DAP} = (\beta_0 + b_0) + \beta_1 h_{\text{dom}} + \beta_2 \text{IDC12} + \beta_3 N + \beta_4 G_0 \quad (10)$$

Donde: h_{dom} : altura media dominante (m), IDC12: índice de daño de copa observado a los 12 meses, N: n.º de árboles por hectárea, G_0 : categorización genética (dos niveles), β_0 a β_4 : parámetros de cada variable, b_0 : efecto aleatorio asociado al predio.

El análisis de los gráficos demuestra que el modelo cumple con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y presenta una distribución normal (figuras 3a, 3b y 3c). Sumado a estos resultados, el gráfico lineal 1:1 evidencia una buena relación entre DAP predicho y DAP observado, lo que indica un buen ajuste (R^2 0,75) (figura 3d).

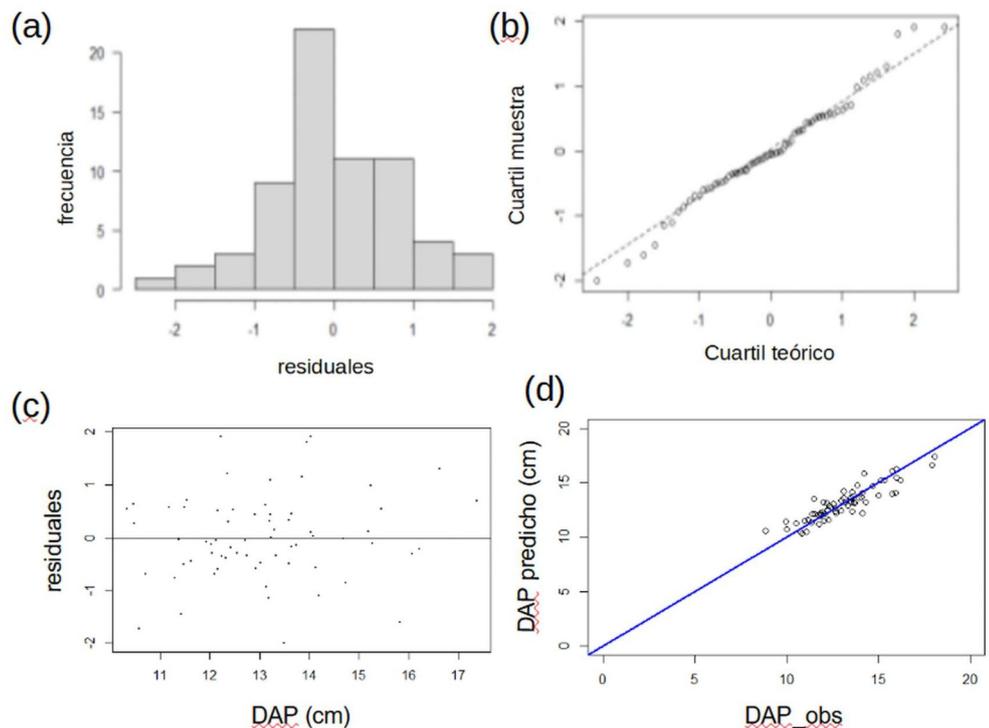


Figura 3. Gráficos de histograma (a), Q-Q plot (b), distribución de residuales en función del DAP predicho (c), lineal 1:1 entre DAP predicho y DAP observado (d) para la ecuación seleccionada de DAP.

3.6.3. Modelo ajustado para altura total media

En la ecuación de altura (H), ninguna de las variables de cuantificación del daño de copa fueron estadísticamente significativas (IDC6 *p*-valor = 0,74, IDC12 *p*-valor = 0,87, IDC24 *p*-valor = 0,24, AUDPC *p*-valor =

0,53). La inclusión de la genética tampoco mostró efecto en el ajuste de la ecuación, por lo que no fue incluida (p -valor = 0,79). La ecuación ajustada para estimar H fue la siguiente:

$$H = \beta_0 + b_0 + \beta_1 \text{DAP} + \beta_2 h_{\text{dom}} + \beta_3 N \quad (11)$$

Donde: DAP: diámetro a la altura del pecho promedio de la parcela (cm), h_{dom} : altura media dominante (m), N: n.º de árboles por hectárea, β_0 a β_3 : parámetros de cada variable, b_0 : efecto aleatorio asociado al predio.

El análisis de los gráficos deja en evidencia que el modelo seleccionado para H cumple con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y presenta una distribución normal (figuras 4a, 4b y 4c).

Además se evidencia un buen ajuste para los datos observados (R^2 0,94), evidenciado por la relación entre H predicho y H observado en el gráfico lineal 1:1 (figura 4d).

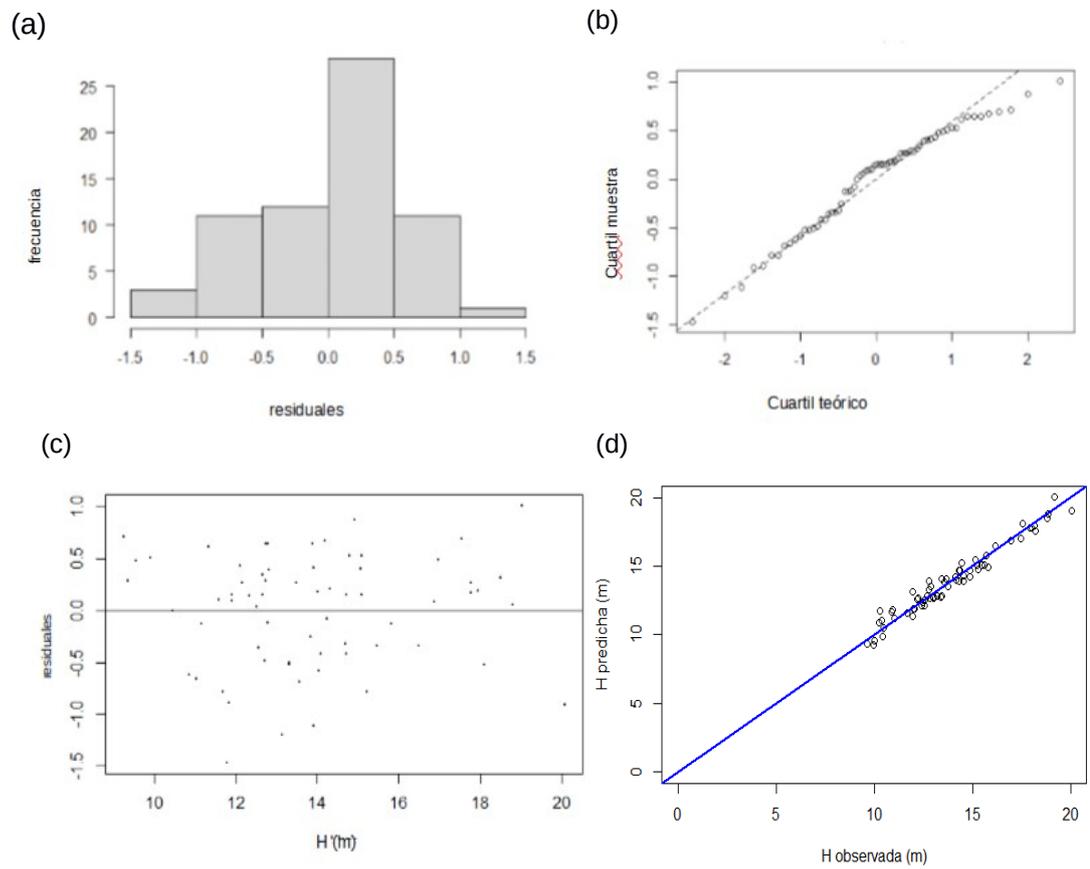


Figura 4. Gráficos de histograma (a), Q-Q plot (b), distribución de residuales en función de la H predicha (c), lineal 1:1 entre H predicha y H observada (d) para la ecuación seleccionada de H.

3.6.4. Modelo ajustado para volumen

La ecuación seleccionada para volumen corresponde a una ecuación no lineal de tipo exponencial. Las variables que fueron significativas en el desarrollo de la ecuación fueron: el producto de $G \cdot H$ y h_{dom} (p -valor = 3,88e-13 vs. p -valor = 3,32e-05). De todas las variables de daño utilizadas, solo el IDC12 fue estadísticamente significativo (p -valor = 3,88e-08), lo que indica que existe un efecto de la enfermedad en la producción de madera.

Respecto a los efectos aleatorios, estos se ubicaron en la variable ($G \cdot H$) y en h_{dom} . La ecuación ajustada para estimar volumen fue la siguiente:

$$VOL = e^{[\beta_0 + (\beta_1 + b_1) \cdot \log(G \cdot H) + \beta_2 IDC12 + (\beta_3 + b_3) \cdot h_{dom}]} \quad (12)$$

Donde: G: área basal (m^2/ha), H: altura promedio (m), IDC12: índice de daño de copa observado a los 12 meses, h_{dom} : altura media dominante (m), β_0 a β_3 : parámetros de cada variable, b_1 y b_3 : efecto aleatorio asociado a β_1 y β_3

El modelo seleccionado para volumen cumple con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y presenta una distribución normal, evidenciado por el análisis gráfico (figura 5a, 5b y 5c).

Por otra parte, se observa un muy buen ajuste (R^2 0,94) para los datos analizados, dada la relación 1:1 entre VOL predicho y VOL observado (figura 5d).

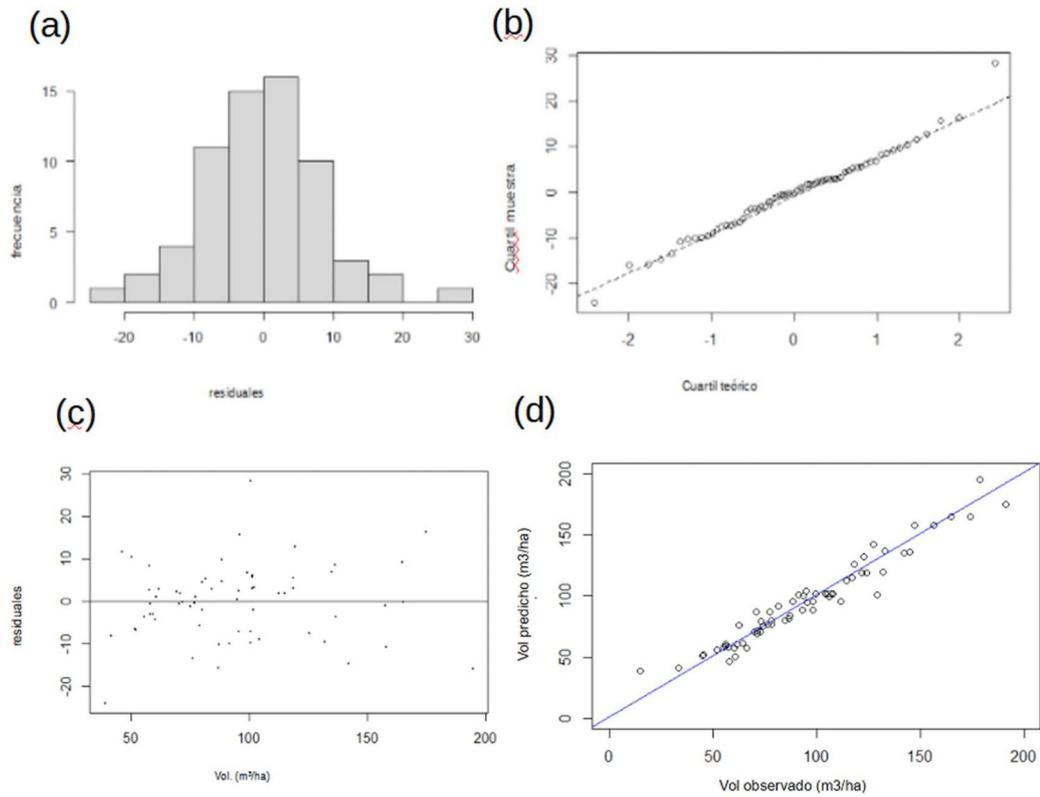


Figura 5. Gráficos de histograma (a), Q-Q plot (b), distribución de residuales en función del vol. predicho (c), lineal 1:1 entre VOL predicho vs. VOL observado (d) para la ecuación seleccionada de volumen.

3.6.5. Estadísticos de ajuste y precisión para los modelos seleccionados

Los indicadores estadísticos obtenidos reafirman los resultados del análisis gráfico respecto al perfecto ajuste entre los valores predichos y observados para las tres ecuaciones seleccionadas. Las ecuaciones que presentaron valores de R^2 cercanos a 1 fueron la ecuación de H y volumen (en ambas el R^2 0,94), pero la ecuación de H fue la que mejor se ajustó, dado los menores valores de $Syx\% = 3,86$. Respecto a los resultados del coeficiente d de Wilmott, las ecuaciones de altura total media y volumen presentaron un d cercano a 1; para el caso de la ecuación de DAP, a pesar de obtener un menor resultado, este valor fue aceptable^{(60,61)(58)}, lo que indica un buen ajuste (cuadro 5).

Cuadro 5. Coeficientes de las ecuaciones ajustadas y sus respectivos estadísticos de ajuste

Ecuación	Coeficientes					Estadísticos			
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	RMSE	d	$Syx\%$
DAP (cm)	13,15	0,35	-0,03	-0,004	-0,99	0,75	0,80	0,78	5,52
H (m)	-4,96	0,65	0,51	0,0014		0,94	0,53	0,89	3,86
volumen (m ³ /ha)	0,084	0,69	-0,004	0,057		0,94	8,65	0,99	9,22

Para la ecuación de DAP, los coeficientes β_2 , β_3 y β_4 , correspondientes a las variables IDC12, N y G_0 presentan signo negativo, suponiendo un crecimiento menor cuanto mayor sea el daño y el N. En el caso de la genética, como es una variable categórica (0,1), solo aquellos genotipos de baja productividad, identificados como 1, restarían al crecimiento. Los genotipos de alta productividad, identificados como 0, no tienen efecto en el DAP.

Para el caso de H modelada, los coeficientes β_1 , β_2 y β_3 correspondientes a las variables DAP, h_{dom} y N presentan signo positivo, suponiendo mayores crecimientos a mayores producciones de DAP, h_{dom} y N. El único coeficiente que resta a la producción de madera está asociado al intercepto, por lo que cada establecimiento tendrá un origen distinto.

Respecto a la ecuación de volumen, los resultados demuestran que el IDC12 tuvo un efecto negativo sobre el volumen.

3.6.6. Estimación del impacto del daño en la producción de madera a los 7 años.

La reducción en crecimiento en DAP y volumen utilizando los modelos ajustados indica que el crecimiento estimado fue mayor respecto al crecimiento observado: DAP 14,5 vs. 13,1 cm y volumen 116,5 vs. 93,7 m³/ha, respectivamente. Se constató un mayor efecto de la enfermedad sobre el DAP a medida que el daño aumentó; es decir, a mayores registros de daños, mayor diferencia entre DAP estimado y DAP observado. Al graficar la línea de tendencia en función del IDC12, se pudo observar que se ubicó encima de cero y con pendiente positiva (figura 6).

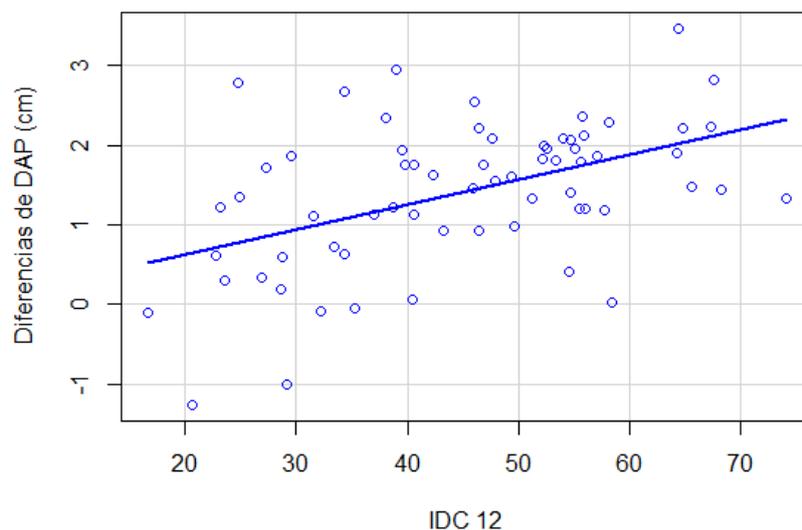


Figura 6. Reducción en crecimiento en DAP (estimado como DAP esperado sin daño - DAP observado) en función del IDC12

Por otra parte, la reducción en volumen estimado como la diferencia entre volumen esperado sin daño y volumen observado fueron positivas. La línea de tendencia presenta una pendiente positiva, esto significa que el volumen esperado sin daño resultaría en una mayor producción respecto a lo observado. Por otra parte, se detectó una gran dispersión de puntos, con daños que van desde los 25 a los 65, y diferencias en producción mayoritariamente entre 10 y 30 m³/ha, aunque se observan valores que sobrepasan los 60 m³/ha (figura 7).

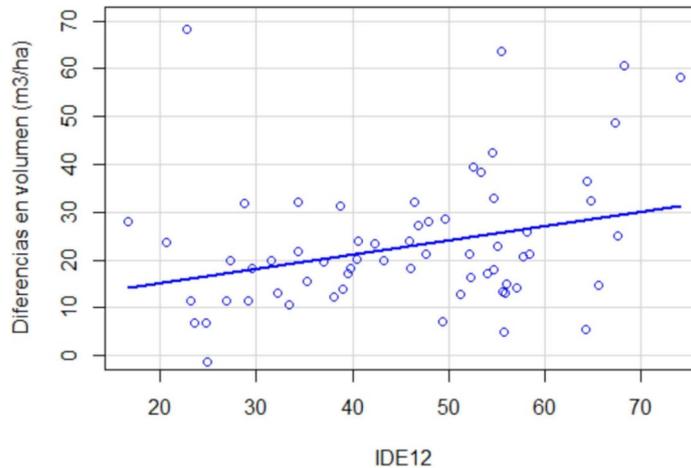


Figura 7. Reducción de volumen (estimado como volumen esperado sin daño - volumen observado) en función del IDC12

3.6.7. Diferencias en producción de volumen observado vs- esperado sin daño - análisis por cuartil de h_{dom}

Los resultados indican que en todos los cuartiles seleccionados por calidad de sitio (h_{dom}) el IDC12 fue mayor al 40 %. Se observaron diferencias para IDC12 y crecimiento volumétrico según cuartiles.

En cuanto al crecimiento, los resultados indican que el Q4 fue el que presentó los mayores valores absolutos con y sin daño respecto a los demás cuartiles (cuadro 6).

Además, el Q4 fue el que presentó las mayores pérdidas absolutas de crecimiento volumétrico (38,69 m³/ha) respecto al Q1 (15,98 m³/ha). A pesar

de estos resultados, el χ^2 indica que no existen diferencias significativas entre estos cuartiles (χ^2 : 1,59); al analizar las diferencias en porcentaje para éstos cuartiles, se obtuvieron los mismos resultados, lo que indica que no existen diferencias significativas.

Cuadro 6. Valores promedios por cuartiles de AMD

	AMD (m)	IDC 12 (%)	DAP		Volumen		Diferencias	
			obs (cm)	esperado sin daño (cm)	obs (m ³ /ha)	esperado sin daño (m ³ /ha)	VOL (m ³ /ha)*	VOL (%)
Q1	11,5-15,2	47,9	11,7	13,2	57,0	73,0	16,0	21,9
Q2	15,2-17	43,7	12,5	13,8	81,9	98,4	16,5	16,7
Q3	17-18,6	39,8	13,0	14,4	100,8	122,2	21,4	17,5
Q4	18,6-23	49,8	15,1	16,5	139,9	178,7	38,8	21,7

*Volumen esperado (sin daño) - volumen observado en (m³/ha). DAP: diámetro a la altura del pecho, AMD: altura media dominante, IDC: índice de daño de copa, VOL: volumen.

3.7. DISCUSIÓN

En el ámbito mundial, existe una tendencia al incremento de la superficie bajo forestación con *Eucalyptus*, así como también una dependencia de algunas especies forestales debido principalmente a sus propiedades industriales y al buen desempeño en sitios de interés. Este trabajo representa el primer estudio sobre el impacto de una enfermedad en el rendimiento de plantaciones comerciales en Uruguay.

Los resultados presentados demuestran el impacto de TLD en plantaciones de *E. globulus*. El análisis de los valores registrados de IDC12 indicaron un amplio rango de daño, con valores que van desde 20 a 70 %. Esto coincide con los resultados publicados por Otero y autores⁽⁶²⁾, que mencionan valores muy variables de incidencia y severidad para los diferentes puntos de muestreo.

Por otra parte, Balmelli⁽⁶³⁾ y Simeto⁽¹⁰⁾ mencionan que la gran variabilidad observada en el daño podría estar asociada a que algunos árboles ya habían comenzado a cambiar el follaje, lo que impactaría de forma diferente la enfermedad, o estar explicadas por la interacción entre el patógeno (con diferente presión de inóculo según la zona), el hospedero (diversidad del material genético dentro de cada especie) y el ambiente (diversidad en tipo de suelo, fecha de plantación, posición topográfica y condiciones climáticas). Además de estos factores, se nombran a las condiciones de cultivo, a las condiciones climáticas locales, a las especies de *Mycosphaerella* presentes, a la cantidad de inóculo inicial como causas de la gran variabilidad en los daños⁽⁶²⁾.

Al margen de esto, el nivel de daño promedio de todas las plantaciones fue alto (IDC12: 44,6 %), en comparación con lo publicado por Smith⁽⁶⁴⁾ y Carnegie y Ades⁽²⁵⁾, quienes mencionan niveles de daño de 20 % y 10 % para plantaciones jóvenes de Australia. Smith⁽⁶⁴⁾ indica que con niveles de daño foliar de 20 % ya es suficiente para generar reducciones de crecimiento entre 4 y 17 % en *E. globulus*. A su vez, Carnegie y Ades⁽²⁵⁾ mencionan que solo un 10 % del área foliar afectada es suficiente para causar pérdidas de crecimiento en *E. globulus* de 2 años.

Estudios realizados por Pérez y autores⁽⁶⁵⁾ confirman que los aumentos en el IDC se traducen en mayores pérdidas de madera en *E. globulus*, pero a niveles inferiores al 56 % de IDC las plantas se mantienen competitivas. Balmelli y otros⁽⁶⁶⁾ registraron valores significativamente mayores para severidad, defoliación e IDC en *E. globulus* comparado con otras especies, indicando además que el daño causado por *T. nubilosa* para las plantaciones evaluadas fue moderadamente alto, con un IDC total medio de 39,1 %.

Investigaciones realizadas en Uruguay aseguran que una severidad de 40 % o más para TLD (en árboles de 14 meses) produce reducciones en crecimiento y que a mayor daño, mayor será el impacto en el crecimiento, evidenciado por una correlación negativa entre el crecimiento y la magnitud de la reducción del área foliar por TLD⁽⁶³⁾. Estos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo. Por otro lado, Carnegie⁽¹⁴⁾ alegan una correlación negativa entre la altura y el diámetro del árbol, con la severidad de TLD en plantaciones de *E. globulus*. A diferencia de esto, los resultados obtenidos muestran una correlación negativa entre diámetro, volumen e IDC12, lo que evidencia una reducción de crecimiento de un 22 % para un IDC12 promedio de 44,6 %.

Algunos autores concluyen que el daño provocado por TLD reduce el área fotosintéticamente activa, lo que resulta en pérdidas de productividad en las plantaciones afectadas a causa de reducciones en el crecimiento, lo que coincide con los resultados presentados⁽²⁸⁻²⁹⁾⁽²²⁾⁽⁶⁶⁾⁽¹⁵⁾. Pese a esto, se torna difícil definir la duración del efecto de este daño, debido a que la respuesta de los árboles depende de la interacción de diversos factores bióticos y abióticos como lo mencionan⁽²⁶⁾⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁹⁻⁷⁰⁾.

Al analizar los datos separados por cuartiles de h_{dom} , se observó que no existe un efecto marcado entre el sitio y el nivel de daño foliar. La elección del sitio no es una alternativa que permita reducir el IDC12. Estos resultados coinciden con lo publicado por Balmelli⁽¹¹⁾, que mencionan que las características del sitio no tienen un efecto marcado sobre el nivel de daño foliar. Pinkard y Mohammed⁽⁷¹⁾ aseguran que el efecto de *Mycosphaerella leaf disease* (MLD) fue similar en los diferentes sitios evaluados independientemente del nivel de infección del árbol, lo que coincide con los resultados obtenidos. Además, Otero y autores⁽⁶²⁾ reportan, para todos los puntos muestreados, valores de incidencia y severidad muy variables, lo que se traduce en diferentes niveles de daño según la edad del árbol.

Por otra parte, el estudio de las diferencias entre volumen estimado vs. observado por cuartil (en m^3/ha) indicó que en el Q4 (mejores sitios) se obtuvieron los valores más altos en comparación con el Q1 (peores sitios) (38,6 vs. 16 m^3/ha). Estas diferencias no fueron extrapolables cuando se analizaron los resultados en términos relativos: para ambos cuartiles la reducción fue de un 22 %. Con base en estos resultados, podemos afirmar que en sitios de mayor productividad el impacto productivo será mayor, dado que las pérdidas en m^3 son mayores. Independientemente de estos resultados, las mayores producciones (m^3/ha) se registraron en los mejores

sitios a pesar de que la pérdida absoluta (m^3/ha) fue mayor. En sitios de baja calidad, la producción de madera (m^3/ha) no solo está influenciada por la enfermedad, sino también por las características desfavorables del sitio que hacen a los bajos rendimientos.

Las ecuaciones ajustadas en este trabajo son el primer antecedente del desarrollo de ecuaciones de estimación que incluyen variables de daño de copa en plantaciones de nuestro país, presentando información de utilidad al momento de seleccionar variables para cuantificar el daño y su edad de medición, y relacionarlas con la pérdida de productividad. Además, son una herramienta necesaria para la planificación productiva orientada a productores forestales que actualmente mantienen plantaciones de *E. globulus* o tienen intención de producir esta especie.

Debido a que los resultados presentados parten de datos de plantaciones con 7 años, sería recomendable continuar con estos estudios hasta turno final (10-12 años) con la finalidad de relacionar la información de daño con la producción a turno final.

La información obtenida puede ser un insumo muy útil para el sector forestal en la gestión de bosques y estimación de costos asociados a la producción de *E. globulus* en escenarios de ataque de *T. nubilosa*, dado el desconocimiento actual sobre el efecto del daño en la productividad real de dicha especie forestal luego de la introducción del patógeno. Este estudio deja la puerta abierta para la consideración con base científica de la continuidad de plantación de *E. globulus* en Uruguay.

3.8. CONCLUSIONES

El índice de daño de copa a los 12 meses —DC12— tuvo contribución significativa en los modelos de estimación de DAP y volumen; sin embargo, el IDC12 no afectó significativamente la altura total media.

Al comparar los datos estimados vs. los datos observados, se identificaron diferencias en producción tanto para el crecimiento del diámetro a la altura del pecho —DAP— como para el volumen.

La reducción de volumen a los 7 años para *E. globulus* afectado por TLD fue de un 22 %, lo que evidencia el impacto de la enfermedad en las plantaciones de esta especie en Uruguay.

No se observó una tendencia de menor daño en mejores sitios, es decir que la intensidad del daño no cambió según la calidad del sitio. Se registraron mayores producciones de madera (m^3/ha) en los mejores sitios, pero las diferencias de volumen estimado vs. observado (m^3/ha) fueron mayores, lo que indica más pérdida por la enfermedad en comparación con cuartiles ubicados en sitios más pobres.

El uso de estos modelos permitió conocer el estado actual de las plantaciones evaluadas y determinar las pérdidas de crecimiento al año 7 para *E. globulus* en Uruguay.

Dado que la producción de *E. globulus* para pulpa tiene un turno de rotación de 10-12 años, en futuros trabajos se podría estimar el crecimiento hasta la cosecha y así determinar la pérdida a turno final.

3.9. BIBLIOGRAFÍA

1. Jackson S. 2013. *Mycosphaerella* Leaf Disease on Eucalypts in Western Australia-the diversity and impact. Thesis. School of Veterinary and Life Sciences. 300 p.
2. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2011. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. [En línea]. 5 enero 2019. <http://www.mgap.gub.uy/dieaanterior/anuario2011/diea-anuario-2011-web.pdf>
3. Pérez G, Hunter GC, Slippers B, Pérez C, Wingfield BD, Wingfield MJ. 2009. *Teratosphaeria (Mycosphaerella) nubilosa*, the causal agent of *Mycosphaerella* leaf disease (MLD), recently introduced into Uruguay. *Pl. Pathol.* 125 (1): 109-118. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-009-9463-x>.
4. Smith AH, Wardlaw TJ, Pinkard EA, Ratkowsky DA, Mohammed CL. 2017. Impacts of *Teratosphaeria* leaf disease on plantation *Eucalyptus globulus* productivity. *For. Pathol.* 47, e12310. doi: <https://doi.org/10.1111/efp.12310>
5. Old KM, Wingfield MJ & Yuan ZQ. 2003. *A manual of diseases of Eucalyptus in South-East Asia*. Cifor. 97: 19-24. ISBN 064306530.
6. Smith AH, Potts BM, Ratkowsky DA, Pinkard EA, Mohammed CL. 2018. Association of *Eucalyptus globulus* leaf anatomy with susceptibility to *Teratosphaeria* leaf disease. *For. Pathol.* 48(2), e12395. Doi: [10.1111/efp.12395](https://doi.org/10.1111/efp.12395)
7. Carnegie AJ, Ades PK. 2002. The proportion of leaf spots caused by *Mycosphaerella cryptica* and *M. nubilosa* on *Eucalyptus globulus*,

E. nitens and their F1 hybrids in a family trial in Tasmania, Australia. *Australas Myco.* 21: 53-63. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00049158.2001.10676189>.

8. Pérez C, Martínez G, Simeto S, Torres D, Palladino C, Langone F, Bentancur O, Balmelli G. 2013. Prospección sanitaria en plantaciones jóvenes de eucalipto primavera 2008-otoño 2012. V Jornada Técnica de Protección Forestal. Avances de investigación en plagas y enfermedades forestales. 23-28.
9. Balmelli G, Simeto S, Martínez G, Torres D, Pérez CA, Bentancur O. 2011a. Incidence and severity of pests and diseases on young plantations of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. En: IUFRO Forest Protection Joint Meeting: pathogens, insects and their associations affecting forestry worldwide. Colonia del Sacramento, Uruguay.
10. Simeto S, Balmelli G, Martínez G, Torres D, González P, Fros D, Bentancur O, Pérez CA. 2010. Relevamiento sanitario de *Eucalyptus* spp. en el Sureste y Litoral Oeste del país. En: Jornada Técnica de Protección Forestal. Las Brujas: INIA. (Serie Actividades de Difusión; 629). 41-51.
11. Balmelli G, Simeto S, Martínez G, Torres D, Pérez C, Fros D, Bentancur, O. 2009a. Incidencia y severidad de enfermedades y plagas en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* en las regiones sureste y litoral oeste de Uruguay. En: Jornada Técnica de Protección Forestal. INIA, Uruguay. Serie Actividades de Difusión n.º 567. 51-65.
12. Balmelli G, Simeto S, Martínez G, Torres D, González P, Fros D, Bentancur O, Pérez C. 2009b. Relevamiento sanitario de otoño en

- plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii* en el Sureste y Litoral Oeste. En: Seminario Técnico de Sanidad Forestal. INIA, Uruguay. Serie Actividades de Difusión n.º 594. 51-72.
13. Maxwell A. 2004. The taxonomy, Phylogen and Impact of *Mycosphaerella* species on Eucalypts in South-Western Australia. Doctoral dissertation, Murdoch University Perth. 214 p.
 14. Carnegie AJ, Ades P, Keane P, Smith I. 1994. Variation in susceptibility *Eucalyptus globulus* provenances to *Mycosphaerella* leaf disease. Can. J. For. Res. 24: 1751- 1757. doi: <https://doi.org/10.1139/x94-226>
 15. Lundquist JE, Purnell RC. 1987. Effects of *Mycosphaerella* leaf spot on growth of *Eucalyptus nitens*. *Plant Dis.* 71, no. 1025-1029. doi: 10.1094/PD-71-1025.
 16. Alonso R, Soria S, Lupo S, Bettucci L, Pérez C. 2013. Alternativas de manejo de enfermedades foliares en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus*. INIA Serie Técnica n.º 209. 39-44.
 17. Olmos VM, Ansuberro J, Pintos M, Pérez G. 2018. Panorama empresarial del sector forestal uruguayo productor de *Eucalyptus globulus*. *Agrociencia* (Uruguay), 22(1): 133-139. doi: <http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.1.14>.
 18. Boscana M, Boragno L. 2018. Análisis sectorial y cadenas productivas, Actualidad del sector forestal. Anuario OPYPA 2018. 229-239.
 19. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2017. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. [En línea]. 5 enero

2018. <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/diea-anuario2017web01a.pdf>
20. MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2020. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. [En línea]. 10 agosto 2020. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>
 21. MGAP-DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General Forestal, UY). 2021. Resultados Cartografía Forestal 2021. Datos y estadísticos MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). [En línea]. 20 enero 2019. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/resultados-cartografia-forestal-2021>
 22. Mohammed C, Wardlaw T, Smith A, Pinkard E, Battaglia M, Glen M, Tommerup I, Potts B, Vaillancourt R. 2003. *Mycosphaerella* leaf diseases of temperate eucalypts around the southern Pacific rim. *New Zealand J. For. Sci.* 33(3): 362-372. [En línea]. 10 abril 2018. https://www.academia.edu/19389592/Mycosphaerella_leaf_diseases_of_temperate_eucalypts_around_the_Southern_Pacific_Rim
 23. Stone C. 2001. Reducing the impact of insect herbivory in eucalypt plantations through management of extrinsic influences on tree vigour. *Austral Ecol.* 26:482-488. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2001.01143.x>
 24. Carnegie AJ. 2007. Forest health condition in New South Wales, Australia, 1996-2005. II. Fungal damage recorded in eucalypt plantations during forest health surveys and their management.

- Australas. Pl. Pathol. 36: 225-239. doi:
<http://dx.doi.org/10.1071/AP07021>
25. Carnegie AJ, Ades PK. 2003. *Mycosphaerella* leaf disease reduces growth of plantation-grown *Eucalyptus globulus*. Australas. Forestry 66(2): 113-119. doi:
<https://doi.org/10.1080/00049158.2003.10674900>
26. Simeto S, Balmelli G, Pérez C. 2020. Diseases of *Eucalyptus* plantations in Uruguay: current state and management alternatives. Capítulo de libro: Forest Pest and Disease Management in Latin America. DOI: [10.1007/978-3-030-35143-4_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35143-4_9). 123-144.
27. Balmelli G, Simeto S, Torres D, Castillo A, Altier N, Diez JJ. 2014. Susceptibility to *Teratosphaeria nubilosa* and precocity of vegetative phase change in *Eucalyptus globulus* and *E. maidenii* (Myrtaceae). Austral. J. Bot. 61(8): 583-591. DOI:
[10.1071/BT13225](https://doi.org/10.1071/BT13225)
28. Hunter GC, Crous PW, Carnegie AJ, Wingfield MJ. 2009. *Teratosphaeria nubilosa*, a serious leaf disease pathogen of *Eucalyptus spp.* in native and introduced areas. Mol. Plant Pathol. 10: 1-14. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00516.x>
29. Milgate AW, Potts BM, Joyce K, Mohammed C, Vaillancourt RE. 2005. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. Australas. Pl. Pathol. 34(1):11-18. doi:
<https://doi.org/10.1071/AP04073>

30. Alfenas AC, Zauza EA, Mafia RG, Assis TF. 2004. Clonagem e Doenças do Eucalipto. Universidade Federal do Viçosa, MG. Brasil. 500 p. ISBN: 9788572962410.
31. Balmelli G, Simeto S, Altier N, Marroni V, Diez JJ. 2011b. Efecto de la defoliación provocada por *Mycosphaerella* spp. en el crecimiento y en la sobrevivencia de *Eucalyptus globulus*. En: Día de campo forestal en zona Sureste. INIA, Uruguay. Serie Actividades de Difusión n.º 644. 5-11.
32. MGAP. 2020. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- Dirección General de Recursos Naturales Renovables). Descripción de Grupos de Suelos CO.N.E.A.T. Montevideo. 6-7 p. [En línea]. 20 julio 2020. C:\Users\Usuario\Downloads\Descripción de Grupos de suelos CONEAT_0.pdf
33. Methol R. 2006. "SAG globulus": Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. Serie Técnica 158. INIA, Uruguay. 32 p.
34. Balmelli G. 2002. Avances en mejoramiento genético de *Eucalyptus globulus* en el Programa Nacional Forestal de INIA. 1. Comportamiento relativo de *Eucalyptus globulus* en Zona 2. Serie Actividades de Difusión n.º 289: 3-7
35. Giambruno F, López S. 2010. Medición de activos forestales en Uruguay. Trabajo de Investigación Monográfico para la Obtención del Título de Contador Público (Plan 90). Universidad de la República, Facultad de Ciencias Económicas y Administración. 119 p.

36. Resquin F, Fariña I, Rachid C, Rava A, Doldán J. 2012. Influencia de la edad de corte en el pulpeo de *Eucalyptus globulus* plantado en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)* 16(2):27-38. ISSN 2301-1548
37. Moras G, Vallejos-Barra OS. 2013. Tablas de volumen para árboles individuales de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* cultivados en la región sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(2): 11-24. DOI: <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.458>
38. Assman E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-006658-5.50002-9>
39. García O. 1998. Estimating top height with variable plot sizes. *Can. J. For. Res.* 28: 1509-1517. DOI:[10.1139/x98-128](https://doi.org/10.1139/x98-128)
40. Smith A, Pinkard E, Stone C, Battaglia M, Mohammed C. 2005. Precision and accuracy of pest and pathogen damage assessment in young eucalypt plantations. *Environ. Monit. Assess.* 111(1-3): 243–256. doi:[10.1007/s10661-005-8222-5](https://doi.org/10.1007/s10661-005-8222-5)
41. Stone C, Parsons M, Matsuki, Angus J. 2003. *Pest and Disease Assessment in Young Eucalypt Plantations: Field Manual for Using the Crown Damage Index*. Bureau of Rural Sciences. doi: 3070592. 30p.
42. Madden LV, Hughes G, Van den Bosch F. 2007. *The Study of Plant Disease Epidemics*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
43. Bandera-Fernández E, Pérez-Pelea L. 2018. Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. *cultrop* 39(1): 127-133. ISSN 0258-5936
44. Arnau J, Bono R. 2008. *Estudios longitudinales de medidas repetidas: Modelos de diseño y análisis*. Escritos de Psicología.

- 2(1): 32-41. [En línea]. 1 Julio 2022.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1989-38092008000300005&lng=es. ISSN 1138-2635
45. Crawley MJ. 2012. *The R book*. John Wiley & Sons. (19): 627-651.
 [En línea]. 13 octubre 2019.
http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/Biblio_N/R_Eng/Crawley2013.pdf
46. Calama S, Montero G. 2004. Aplicación de los modelos mixtos a un caso práctico de modelización del crecimiento y producción de las masas forestales. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*. 18: 317-321. ISSN: 1575-2410. doi: <https://doi.org/10.31167/csef.v0i18.9477>
47. Hernández F, Usuga O. 2021. Manual de R. Prefacio. [En línea]. 16 abril 2021. <https://fhernanb.github.io/Manual-de-R/>
48. Teetor P. 2011. *R cookbook: Proven recipes for data analysis, statistics, and graphics*. " O'Reilly Media, Inc.". ISBN: 9780596809157. 438p.
49. Morás G. 2010. *Tablas de volumen de Eucalyptus globulus ssp. globulus al sur del río Negro*. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. 110 p.
50. Hirigoyen A, Franco J, Diéguez U. 2018. Modelo dinámico de rodal para *Eucalyptus globulus* (L.) en Uruguay. *Agrociencia* (Uruguay), 22(1), 63-80. doi: <http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.1.7>.
51. Methol R. 2008. *SAG eucalyptus: Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de Eucalyptus orientadas a la producción de celulosa en Uruguay*. Serie Técnica 173. INIA, Uruguay. 26 p. [En línea].
 21 enero 2020.

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2915/1/18429240309124013.pdf>

52. Methol R. 2003. *SAG grandis: Sistema de Apoyo a la Gestión de plantaciones de eucalyptus grandis*. Serie Técnica 131. INIA, Uruguay. 41 p.
53. Rachid C, Hirigoyen A. 2015. «SAG taeda»: Sistema de Apoyo a la Gestión de plantaciones de *Pinus taeda*. Serie Técnica N° 224. INIA, Uruguay. 22 p
54. Fallas J. 2012. Análisis de varianza. Comparando tres o más medias. Costa Rica: Universidad para la Cooperación Internacional. 48 p. [En línea]. 13 octubre 2019. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUEACADEMICO/Unidad-2/complementarias analisis_de_varianza_2012.pdf
55. Kozak A. 2004. My last words on taper equations. *For. Chron.* 80: 507-515. doi: <https://doi.org/10.5558/tfc80507-4>
56. Newnham RM. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22(2): 210-223. doi: <https://doi.org/10.1139/x92-028>
57. Willmott CJ. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull Am Meteorol Soc.* 63, 1309-1313. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2).
58. Willmott CJ. 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.* (2): 184-194. doi: <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>
59. Willmott CJ, Wicks DE. 1980. An Empirical method for the spatial interpolation of monthly precipitation within California *Phys. Geogr.*

- 1, 59-73. doi: <http://doi.org/10.1080/02723646.1980.10642189?journalCode=tphy20>.
60. Acosta J, Cardozo N, Marin F. 2009. Avaliação do desempenho de um modelo de estimativa de saldo de radiação em algumas culturas de girassol, amendoim, café arábica, limão e grama. Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia –22 a 25 de Setembro de 2009– Belo Horizonte. [En línea]. 20 junio 2020. <https://core.ac.uk/download/pdf/45483978.pdf>
61. Willmot CJ. 1984. On the Evaluation of Model Performance in Physical Geography. In: Spatial Statistics and Models, Springer, Berlin, 4(3): 443-460. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-3048-8_23
62. Otero L, Aguín O, Sainz MJ, Mansilla P. 2007. Incidencia y severidad de la enfermedad foliar causada por *Mycosphaerella* spp. en Eucaliptales de Galicia (NO España). Boletín del CIDEU 4: 3-8. ISSN 1885-5237
63. Balmelli G, Simeto S, Altier N, Marroni V, Diez JJ. 2013a. Long term losses caused by foliar diseases on growth and survival of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. *New Forests* 44: 249-263. doi: 10.1007/s11056-012-9314-z
64. Smith A. 2006. The development of strategies for de management and research of foliar pathogens on eucalypt plantations: Using *Mycosphaerella* as a case study. PhD thesis. University of Tasmania, Australia. 215P
65. Pérez S, Renedo CJ, Ortiz A, Ortiz F, Santisteban A. 2017. Biomass Losses Caused by *Teratosphaeria* Leaf Disease in

- Eucalyptus globulus* Short Rotation Forestry. *Forests*. 2017; 8(11):447. <https://doi.org/10.3390/f8110447>
66. Balmelli G, Simeto S, Torres D, Castillo A, Altier N, Diez JJ. 2013b. Susceptibility to *Teratosphaeria nubilosa* and precocity of vegetative phase change in *Eucalyptus globulus* and *E. maidenii* (Myrtaceae). *Austral. J. Bot.* 61(8), 583-591. doi: <https://doi.org/10.1071/BT13225>
67. Carnegie AJ, Ades PK, Keane PJ, Smith IW. 1998. *Mycosphaerella* disease of juvenile foliage in a eucalypt species and provenance trial in Victoria, Australia. *Aust For.* 1(3): 190-194. doi: <https://doi.org/10.1080/00049158.1998.10674739>
68. Eyles A., Barry KM, Quentin A, Pinkard EA. 2013. Impact of defoliation in temperate eucalypt plantations: Physiological perspectives and management implications. *For. Ecol. Manag.* 304: 49-64. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.033>
69. Carnegie AJ, Ades PK. 2001. Added phosphorus is associated with reduced severity of *Mycosphaerella cryptica* in *Eucalyptus globulus*. *Aust For.* 64: 203-208. doi: <https://10.1080/00049158.2001.10676189>
70. Pinkard EA, Beadle CL. 1998. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *New Forests* 15(2): 107–126. DOI: [10.1023/A:1006533423884](https://doi.org/10.1023/A:1006533423884)
71. Pinkard I, Mohammed C. 2005. Photosynthesis of *Eucalyptus globulus* with *Mycosphaerella* leaf disease. *New Phytol.* 170:119-127. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2006.01645.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01645.x)

4. CONCLUSIONES GENERALES

En Uruguay se ha confirmado la presencia de *T. nubilosa* en plantaciones jóvenes de *E. globulus*. A pesar de su gran impacto, hasta el momento no se han reportado resultados respecto a las reducciones en crecimiento en plantaciones comerciales. Actualmente, la única estrategia utilizada por las empresas y los productores ha sido el cambio por especies más resistentes a la enfermedad.

El desarrollo de modelos de estimación de crecimiento para altura total media, DAP medio y volumen/ha a partir de variables dasométricas (obtenidas de inventario) y de daño permitió obtener valores con y sin daño.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la TLD tiene un impacto negativo en el crecimiento de las plantaciones de *E. globulus* a los 7 años con una reducción de un 22 %. En futuros trabajos sería recomendado el registro para índice de daño de copa a los 12 meses (IDC12) para cuantificar las pérdidas por esta enfermedad.

Los datos obtenidos indicaron que no hubo una tendencia entre el nivel de daño respecto a los sitios: para todos los sitios el nivel del daño fue mayor a un 40 %.

En los mejores sitios (Q4) se observaron los mayores valores absolutos de DAP y volumen observado y esperado sin daño. Pero la enfermedad tuvo mayor impacto en los mejores sitios (Q4) debido al mayor crecimiento de las plantaciones.

Los resultados obtenidos servirán de insumo para futuras investigaciones y es indiscutible la importancia de continuarlos.

5. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Arriaga ME. 2021. Cartografía Forestal de bosques plantados 2021. OPYPA (Oficina de Programación y Política Agropecuaria). Análisis sectorial y cadenas productivas temas de política estudios. 471-484
- Balmelli G, Simeto S, Torres D, Hirigoyen A, Castillo A, Altier N, Pérez G, Diez J. 2016. Impact of *Teratosphaeria nubilosa* over tree growth and survival of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maidenii* in Uruguay. *New Forests*. 47(6): 829–843. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-016-9547-3>.
- Brussa CA. 1994. *Eucalyptus*: especies de cultivo mas frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Hemisferio Sur. 216: 8-12.
- Bush D. 2011. *Eucalypts for Planting: Trends in Testing and Utilization*. [En línea]. 3 mayo 2017. Disponible en: <http://www.ipef.br/eventos/2011/iufro.asp>.
- Doughty RW. 2000. *The Eucalyptus a natural and commercial history of the gum tree*. The Johns Hopkins University Press, 237 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Principales resultados. Roma. 16 p. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1981. *El eucalipto en la repoblación forestal*. Colección FAO: Montes N.º 11. Roma. 790: 146-148. ISBN92-5-300570-X

- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2021. Anuario estadístico agropecuario. [En línea]. 10 agosto 2020. Disponible en:
<https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO%20ANUARIO%202021%20Web.pdf>
- Olmos VM, Ansuberro J, Pintos M, Pérez G. 2018. Panorama empresarial del sector forestal uruguayo productor de Eucalyptus globulus. Agrocienca Uruguay, 22(1): 133-139.
<http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.1.14>.
- Payn T, Carnus JM, Freer-Smith P, Kimberley M, Kollert W, Liu S, Wingfield MJ. 2015. Changes in planted forests and future global implications. Forest Ecology and Management, 352: 57-67. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.021>
- Pérez CA. 2012. El desarrollo forestal y su implicancia sobre la dinámica de las enfermedades. En: 2.^a Jornada Bianual de Fitopatología: Impacto de la intensificación de los cultivos en el desarrollo de las enfermedades, 10 agosto; 2012; Montevideo, Uruguay. Pp. 15
- Soust P. 2012. A 25 años de la aprobación de la ley 15.939 (Ley Forestal). MGAP. Montevideo: Anuario 2012-OPYPA. P. 167-172. [En línea]. 10 abril 2018. Disponible en:
<http://www.mgap.gub.uy/opypapublicaciones/ANUARIOS/Anuario2012/material/pdf/14.pdf>

Uruguay XXI. 2021. Consultado el 10 de agosto. 2021. [En línea]. 10 mayo 2021. Disponible en: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-mensual-de-comercio-exterior-julio-2021/>

Yost JM, Wise SL, Love NL, Steane DA, Jones RC, Ritter MK, Potts BM. 2021. Origins, diversity and naturalization of *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) in California. *Forests*, 12(8), 1129. [doi:https://doi.org/10.3390/f12081129](https://doi.org/10.3390/f12081129)

ANEXO

1. Resultados Anova Tipo III para Volumen

	Sum	Sq	Df	F value	Pr(> F)
(Intercepto)	33305	1	47.9613	5.946e-09	***
FUENTE SEM	54190	12	6.5031	6.022e-07	***
Residuales	36804	53			

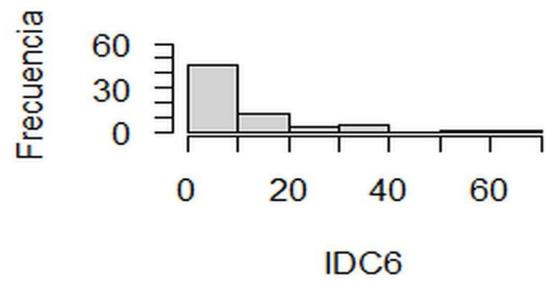
2. Resultados test de Duncan

Grupos según probabilidad de diferencias de medias y nivel alfa (0,01)

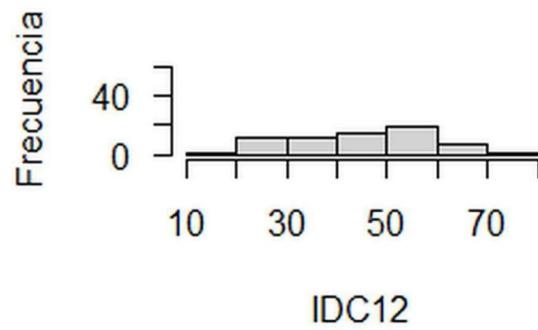
	Volumen observado	Grupos
Madalaya	165,5	a
Clon Odiel	169,2	a
Cowwar	125,8	ab
Clon Rivera	104,5	ab
JEE	93,4	ab
HS VRD	89,4	ab
Clon Tinto	76,4	b
CLON 334	75,2	b
CLON Batman	71,6	b
Chumulco	64,5	b

CLON Roxina	60,4	b
Salus	56,3	b
CLON Candón	45,7	b

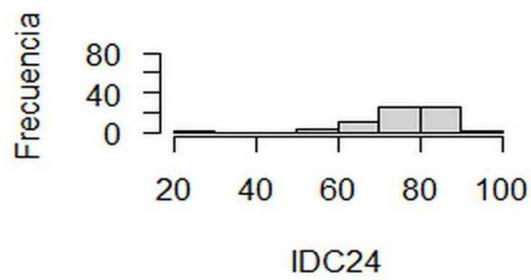
(a)



(b)



(c)



3. Histograma de frecuencias de IDC medidos a los 6 meses (a), 12 meses (b), 24 meses (c)