

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COMPORTAMIENTO DE *EUCALYPTUS GRANDIS* FRENTE AL ATAQUE DE  
*LEPTOCYBE INVASA* EN UN ENSAYO CLONAL EN EL DEPARTAMENTO  
DE TACUAREMBÓ**

**por**

**Carlos Agustín COSTA LAMELA  
José Ignacio DALERA OTONDO**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2022**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director: -----

Dra. Carolina Jorge

-----

Ing. Agr. Mariana Pintos

-----

Ing. Agr. PhD Pablo González

Fecha: 9/12/2022

Autor: -----

Carlos Agustín Costa Lamela

-----

José Ignacio Dalera Otondo

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras tutoras Ing. Agr. MSc. Valentina Benítez y Dra. Carolina Jorge por todo el apoyo y seguimiento brindado durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Agr. PhD Pablo González y al Ing. Agr. MSc Andrés Hirigoyen por su aporte, compromiso y disposición.

A la empresa URUPLY S.A. (Lumin) por permitir realizar el trabajo en sus plantaciones y en particular a la Ing. Forestal MSc. Paola Molina por brindar apoyo logístico y toda la información solicitada con la mejor de las disposiciones.

Un agradecimiento especial para nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional durante todos estos años de estudio.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página.
PÁGINA DE APROBACIÓN	I
AGRADECIMIENTOS	II
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 GENERALIDADES DEL SECTOR A NIVEL MUNDIAL Y EN LATINOAMÉRICA	3
2.2 GENERALIDADES DEL SECTOR FORESTAL URUGUAYO	4
2.3 GENERALIDADES DEL GÉNERO <i>Eucalyptus</i> A NIVEL MUNDIAL	5
2.4 <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i>	6
2.4.1 Situación de la especie en Uruguay	6
2.4.2 Descripción botánica	8
2.4.3 Distribución natural y ecología de la especie	11
2.5 COMPORTAMIENTO DE LA ESPECIE SEGÚN LAS CONDICIONES FISIAGRÁFICAS DE URUGUAY	12
2.6 ASPECTOS SANITARIOS DE <i>Eucalyptus grandis</i> CON ÉNFASIS EN INSECTOS PLAGA	13
2.7 GENERALIDADES DE <i>Leptocybe invasa</i> Y SUS EFECTOS CON ÉNFASIS EN <i>E. gradis</i>	16
2.7.1 Características ecológicas	16
2.7.2 Distribución de <i>L. invasa</i> en Uruguay	19
2.7.3 Hospederos	20
2.7.4 Estrategias de Manejo	20
2.8 HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL ATAQUE DE INSECTOS PLAGA	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO	26
3.1.1 Localización	26

3.1.2 Antecedentes Geológicos	27
3.1.3 Suelos y Topografía	28
3.1.4 Clima	29
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	29
3.2.1 Antecedentes	29
3.2.2 Diseño del ensayo	30
3.2.3 Información de las parcelas proporcionadas por la empresa	32
3.3. ANALISIS ESTADÍSTICO	32
4. RESULTADOS	34
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE LOS DIFERENTES CLONES DE <i>E. grandis</i>	34
4.2 COMPARACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE DIFERENTES CLONES DE <i>E. grandis</i> A <i>L. invasa</i>	36
5. DISCUSIÓN	40
6. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN	43
7. CONCLUSIONES	44
8. RESUMEN	45
9. SUMMARY	46
10. BIBLIOGRAFÍA	47

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No. Página.

Cuadro No. 1. Escala de nivel de daño empleada por la empresa en la evaluación de susceptibilidad de los genotipos a *L. invasa* a los 6 meses/año del ensayo. ....32

Figura No.

Figura No. 1. Distribución de las plantaciones de *E. grandis* (incluidos híbridos y clones) y *E. saligna* en Uruguay en el año 2021..... 7

Figura No. 2. Ejemplar adulto de *E. grandis*.....8

Figura No. 3. Caracteres morfológicos de *E. grandis* I. ....9

Figura No. 4. Caracteres morfológicos de *E. grandis* II. .... 10

Figura No. 5. Aspecto general de la madera de *E. grandis*. .... 11

Figura No. 6. Área de distribución natural de *E. grandis*..... 12

Figura No. 7. Ejemplar adulto (hembra) *L. invasa*. .... 17

Figura No. 8. Principales síntomas del ataque de *Leptocybe invasa* sobre individuos de *Eucalyptus grandis*..... 19

Figura No. 9. Ubicación general del ensayo “La Palma 2” a escala 1:80.000.....26

Figura No. 10. Detalle de los rodales bajo estudio en el Ensayo “La Palma 2”. ....27

Figura No. 11. Variación topográfica en la zona de estudio. ....28

Figura No. 12. Identificación de los rodales y clones dentro de cada parcela. ....31

Figura No. 13. Histograma de Frecuencias para cada categoría de nivel de Daño.....34

Figura No. 14. Mapa de Calor por nivel de Daño para *L. invasa*. ....35

Figura No. 15. Frecuencia absoluta de letras asignadas a los clones mediante el Test de Tukey.....	36
Figura No. 16. Medias ajustadas de nivel de daño por grupo. ....	37
Figura No. 17. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados I. ....	38
Figura No. 18. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados II.....	38
Figura No. 20. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados IV. ....	39
Figura No. 19. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados III. ....	39

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción a Uruguay en la década de 1960 el *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (Myrtaceae) ha demostrado un gran potencial adaptativo para los suelos de nuestro país, logrando excelentes rendimientos comerciales, siendo la especie forestal que ocupa mayor superficie en el sector.

El sector forestal uruguayo se ha caracterizado por la implementación de grandes superficies con uno o muy pocos genotipos, generalmente de origen clonal. Esto, sumado a los movimientos constantes de personas y materiales dados por el comercio internacional, suponen un riesgo frente al desarrollo e introducción de patógenos e insectos plaga, pudiendo comprometer la productividad actual y sustentabilidad futura si no se toman medidas preventivas y de control eficientes.

La avispa agalladora del eucalipto *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) comenzó a ser un problema para el género a partir de la década de los 2000 cuando fue detectada en Israel atacando eucaliptos colorados y comenzó a disiparse de su centro de origen (Australia) (Mendel et al., 2004). En Uruguay se constató su presencia en el año 2011 sobre árboles de eucaliptos colorados en Montevideo. Dentro de las especies atacadas por *L. invasa* en nuestro país se encuentran *E. benthamii*, *E. grandis*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e híbridos de *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* (Jorge et al., 2016).

*L. invasa* genera agallas sobre la nervadura central y pecíolo de las hojas de los eucaliptos, pudiendo atacar ramas y troncos en plantas jóvenes (Mendel et al., 2004). Las agallas se generan a partir de compuestos químicos que las larvas de *L. invasa* secretan durante la alimentación, provocando la hiperplasia e hipertrofia del tejido vegetal circundante. Esto genera reducción del área fotosintética, lo que provoca un estado de estrés en la planta debido a la interrupción del flujo normal de savia ocasionado por la desviación de nutrientes hacia las agallas (Jorge et al., 2014). El estado de estrés predispone además a que las plantas puedan ser atacadas por plagas secundarias. En caso de ataques muy severos y en genotipos muy susceptibles, se pueden generar serios niveles de defoliación e incluso la muerte en algunas plantas jóvenes (Mendel et al., 2004, Jorge et al., 2014).

Si bien a nivel de plantaciones forestales *L. invasa* no ha significado aún grandes problemas para el país, es esperable que en el corto a mediano plazo cambien las

condiciones debido a su rápida diseminación dentro del territorio. Los cambios en las condiciones ambientales (principalmente aumentos en la temperatura) pueden contribuir a modificar las densidades poblacionales y el comportamiento de los insectos, pudiendo generarse las condiciones para que se supere el umbral de daño económico.

En fundamento a la relevancia que tiene *E. grandis* para el sector forestal uruguayo y la amenaza que puede significar un aumento en la densidad poblacional y en consecuencia de los efectos negativos del ataque de *L. invasa*, es necesario adoptar medidas de manejo eficientes. Si bien no existe una metodología de manejo de la plaga que sea 100% efectiva, se considera que el desarrollo de planes de mejoramiento genético en base a la resistencia de los eucaliptos al ataque de *L. invasa* como la mejor alternativa posible. Por lo anterior, se considera pertinente evaluar el comportamiento de distintos genotipos de *E. grandis* frente al ataque de *L. invasa* e identificar aquellos materiales resistentes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo General

Analizar la susceptibilidad de distintos materiales genéticos de origen clonal de *E. grandis* a la plaga *L. invasa*.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a- Caracterizar el nivel de daño de los diferentes clones de *E. grandis*.
- b- Ajustar y comparar el nivel de daño de los diferentes clones de *E. grandis* a través de un modelo estadístico.
- c- Estudiar si existen diferencias en el nivel de daño en relación a la distribución espacial de los clones.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GENERALIDADES DEL SECTOR A NIVEL MUNDIAL Y EN LATINOAMÉRICA

Actualmente las plantaciones forestales a nivel mundial abarcan alrededor de 131 millones de hectáreas (ha), lo que representa el 3% de la superficie total de bosques (FAO, 2020). Esta cifra supone el 45% de la superficie de bosques plantados, lo cual incluye árboles establecidos por plantación y/o siembra deliberada. Los bosques plantados se clasifican en dos categorías: plantaciones forestales y otros bosques plantados (FAO, 2020). Las plantaciones forestales se manejan de manera intensiva en la mayoría de los casos y se componen por especies pertenecientes normalmente a uno o dos géneros, de edad uniforme, plantadas con un espaciamiento regular y con fines principalmente productivos. En la categoría otros bosques plantados se incluyen las plantaciones que no cumplen con los criterios de una plantación forestal, asemejándose a la madurez al bosque regenerado de forma natural. También se incluyen en esta categoría los bosques plantados con la finalidad de restaurar ecosistemas y proteger la degradación de los suelos (FAO, 2020).

El área terrestre ocupada por bosques se ha visto disminuida en las últimas décadas debido a cambios en el uso de la tierra. A su vez, la distribución de bosques nativos e implantados es heterogénea entre los continentes. América del Sur presenta la mayor proporción de plantaciones forestales con una superficie de 17,8 millones de ha, las cuales equivalen al 99% del total de bosque plantado y al 2% de la masa boscosa mundial (FAO, 2020). La menor proporción de plantaciones forestales se encuentra en Europa, donde representa el 6% de la superficie forestal plantada y el 0,4% de la superficie forestal total. A nivel mundial, el 44% de las plantaciones forestales se componen principalmente por especies introducidas, donde en América del Sur este tipo representa el 97% (FAO, 2020).

Existen grandes diferencias en las características y el manejo de las plantaciones forestales entre los hemisferios y los continentes. Los bosques de producción en América del Norte y Central están constituidos principalmente por especies nativas, mientras que los de América del Sur consisten casi en su totalidad en especies introducidas o exóticas (FAO, 2020).

En el hemisferio norte los géneros más plantados son *Pinus* Linneo, *Picea* Link y *Larix* Mill. (FAO, 2021) mientras que en el hemisferio sur predomina el género

*Eucalyptus* L'Hér (Myrtaceae) seguido del género *Pinus* (FAO, 2002). A su vez, existen contrastes en las prácticas silviculturales, así como el tiempo de extracción de la madera de los bosques entre ambos hemisferios, ello debido principalmente a las condiciones climáticas y topográficas que existen entre dichas regiones.

La reforestación comercial se ha vuelto un negocio altamente rentable para América del sur, siendo Brasil y Chile los principales productores. En Uruguay la situación ha sido similar, donde en las últimas décadas la forestación se ha transformado en una de las principales actividades productivas generadoras de divisas del país (Uruguay XXI, 2021).

## 2.2 GENERALIDADES DEL SECTOR FORESTAL URUGUAYO

Desde la implementación de la segunda Ley Forestal N.º 15.939 en el año 1987 el sector forestal ha mostrado un gran desarrollo, posicionándose en la última década como uno de los sectores de mayor aporte a la economía nacional. En esta ley se implementó un programa de desarrollo forestal, que implicó un conjunto de incentivos a la forestación y a la protección del monte nativo (Andreoni, 2010). Estos incentivos constaban de subsidios y exoneraciones fiscales, además de líneas de crédito para los inversores. Dichos instrumentos se aplicaron a productores ganaderos tradicionales con el fin de diversificar la producción, además de inversores extranjeros y empresas internacionales, que llegaron al Uruguay en busca de tierras para forestar (Andreoni, 2010).

La segunda Ley, a su vez, definió los suelos de prioridad forestal como aquellos suelos que, por sus condiciones, aptitud, clima, ubicación y demás características los hacen inadecuados para cualquier otra explotación de carácter permanente y provechoso (Ley N.º 15.939). Para la delimitación de dichos suelos se utilizó el mapa de grupos de suelos CONEAT (Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra), generando nueve zonas. La distribución de dichas zonas permite distinguir tres grandes regiones donde se ubican las plantaciones forestales: Región Centro-Norte (Cerro Largo, Durazno, Rivera y Tacuarembó), Región Litoral (Paysandú, Rio Negro y Soriano) y Región Sur-Sureste (Canelones, Florida, Lavalleja, Maldonado, Rocha y Treinta y Tres) para conformar un total de 3.553.714 ha de prioridad forestal (MGAP. OPYPA, 2015).

El gran dinamismo del sector se puede ver reflejado en la superficie efectiva empleada, la cual se duplicó en las últimas décadas, pasando de 565.793 ha en 1999 a 1.048.228 ha en la actualidad (6% del área total nacional) (MGAP. DGF, 2021a). Actualmente las plantaciones comerciales se conforman principalmente por especies de

*Eucalyptus* y *Pinus*, siendo el género *Eucalyptus* el más plantado, ocupando más del 80% de la superficie efectiva (SPF, 2021). Las principales especies de interés forestal en el Uruguay son *E. dunnii* y *E. grandis* (MGAP. DIEA, 2020, SPF, 2021, FAO, 2020). Según MGAP. DGF (2021a) las plantaciones forestales mayores a 3 años se componen de la siguiente manera: *E. grandis* (híbridos y clones) y *E. saligna* con 250.964 ha; *E. dunnii* con 216.581 ha; *E. globulus*, *E. maidenii* y *E. bicostata* con 103.639 ha; otras especies de *Eucalyptus* con 23.356 ha; montes de abrigo y cortinas con 81.956 ha; *P. elliottii* y *P. taeda* con 150.908 ha; *P. pinaster* con 3.790 ha; *Salix sp.* y *Populus sp.* con 3.137 ha. Los bosques menores a 3 años ocupan 242.079 hectáreas efectivas, compuestas en un 49% de *E. dunnii*, 36% de *E. grandis*, 11% de otros *Eucalyptus* y 4% de *Pinus sp.*

Este sostenido aumento de las existencias forestales sentó las bases para el desarrollo de la fase industrial, donde los principales actores son las plantas de celulosa de capital extranjero, y en menor medida los aserraderos. La extracción de madera total en el año 2020 fue de 17.975.000 de m<sup>3</sup>, compuestos en un 20% de madera proveniente de coníferas y un 80 % de latifoliadas (MGAP. DGF, 2021b). El principal destino de la madera es la fabricación de pulpa de celulosa, en donde se utiliza el 61% de la extracción. Las trozas para aserrío y chapas representan el segundo destino con un 24% del volumen, mientras que el 15% restante se utiliza como combustible (MGAP. DGF, 2021b). El Complejo Forestal contribuye con 3,8% del PBI nacional (solamente superado por el sector ganadero), generando de forma directa e indirecta más de 25.000 puestos de trabajo (SPF, 2021).

Según Uruguay XXI (2021), en 2020 las exportaciones del complejo forestal (madera, productos de madera, celulosa, papel y cartón) se ubicaron en USD \$1.473 millones, siendo el segundo rubro de exportación del Uruguay (por detrás de la ganadería), representando el 18% del total de las exportaciones. La pulpa de celulosa es el principal producto dentro del sector, explicando aproximadamente el 75% del valor de las exportaciones. Uruguay exporta pasta de celulosa desde finales de 2007, cuando comenzó a funcionar la planta de UPM (ex Botnia) en Fray Bentos. A mediados de 2015 comenzó la exportación desde la planta de Montes del Plata ubicada en Punta Pereira, Colonia.

### 2.3 GENERALIDADES DEL GÉNERO *Eucalyptus* A NIVEL MUNDIAL

El género *Eucalyptus* L'Her. (Myrtaceae) es nativo de Australia y cuenta con más de 760 especies descritas (Brussa, 1994, Doughty y Prendergast, 2000, Ritter, 2014). Es considerado uno de los principales géneros de interés forestal a nivel mundial, abarcando en la actualidad más de 20 millones de ha en más de 90 países, siendo superado solamente

por los pinos como el grupo más plantado (IUFRO, 2018). El principal destino de estas plantaciones es proporcionar materia prima para las industrias de papel, pasta de celulosa y carbón, como también producción de postes, leña, productos medicinales, taninos, aceites esenciales, cortinas cortavientos y usos ornamentales (SPF, 2021).

La ubicación taxonómica del género ha sido revisada varias veces a lo largo de estas dos últimas décadas. En la actualidad, la clasificación más aceptada, es en la que los eucaliptos están incluidas las especies de los géneros: *Angophora* Cav. (10 especies) y *Corymbia* K.D.Hill y L. A. S Johnson (95 especies), y las 760 especies que ya estaban dentro del género (Slee et al., citados por Ritter, 2014, Flores et al., 2018).

Este género posee varias características que lo tornan altamente adecuado y noble para su cultivo. Entre ellos se pueden destacar, su alta tasa de crecimiento, facilidad de obtención de material genético, disponibilidad de semilla lo que permite explotar su capacidad de propagación a partir de la misma (Balmelli y Resquin, 2006). Además, de su alta capacidad de prosperar en suelos degradados, lo que genera que sea una especie muy cultivada en diversas zonas climáticas a nivel mundial, sean de clima tropical, subtropical, mediterráneo, semidesértico hasta incluso alpinos (FAO, 1981).

Las especies comúnmente más cultivadas son *Eucalyptus globulus* Labill. (principalmente en Australia, América Central y del Sur de California, España y Portugal), *E. grandis* W. Hill e híbridos entre *E. grandis* y *E. urophylla* ST (en áreas más húmedas que incluyen Brasil, Uruguay, Hawái, China, Sudáfrica, Congo, Zimbabue y países del sudeste asiático) y *E. camaldulensis* Dehnh. (principalmente en áreas más áridas de África, el oeste de América del Norte, Perú y la cuenca del mar Mediterráneo) (Ritter, 2014).

## 2.4 *EUCALYPTUS GRANDIS*

### 2.4.1 Situación de la especie en Uruguay

El cultivo de *E. grandis* en el Uruguay se difunde en la década de 1960 luego de ser introducido en 1963 a partir de material introducido, proveniente de huertos semilleros de Sudáfrica, sin embargo, ya existían algunas plantaciones escasas con esta especie en los departamentos de San José y Rivera (Duter et al., 1998).

Como ya fuera mencionado, *E. grandis*, sus híbridos, y *E. saligna* son las especies más plantadas dentro de las plantaciones forestales mayores a 3 años, con una superficie

de 250.964 ha (MGAP. DIEA, 2021) (Figura No. 1). Los departamentos con mayor área plantada son Rivera y Cerro Largo, con 46.896 y 45.557 ha respectivamente. El resto de las plantaciones se concentran en Paysandú, Río Negro, Treinta y Tres, Tacuarembó y Durazno. En cuanto a las plantaciones menores a 3 años *E. grandis* ocupa el segundo lugar, por debajo de *E. dunnii*, con una superficie aproximada de 87.148 ha (MGAP. DIEA, 2021).

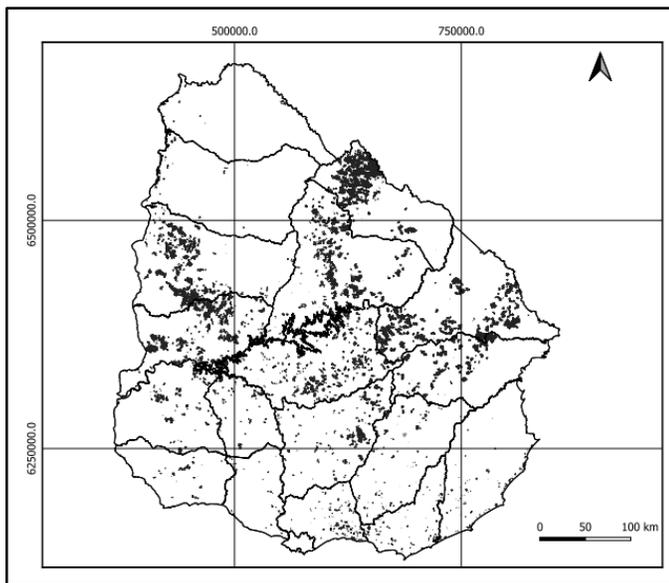


Figura No. 1. Distribución de las plantaciones de *E. grandis* (incluidos híbridos y clones) y *E. saligna* en Uruguay en el año 2021.

**Fuente:** elaborado con base en MGAP. DGF (2021).

En Uruguay, *E. grandis* presenta tasas de crecimiento que al comienzo pueden considerarse un poco lentas, pero a partir del cuarto o quinto año se eleva de forma muy rápida, llegando a alcanzar valores de incremento medio anual (IMA) de 47,3 m<sup>3</sup>/ha/año con corteza y volúmenes comerciales de alrededor de 30 m<sup>3</sup>/ha (Balmelli y Resquin, 2006). Dichas características la tornan una especie atractiva para la producción forestal y justifica su aparición dentro de las especies más plantadas.

#### 2.4.2 Descripción botánica

Los caracteres diagnósticos y la descripción morfológica de la especie fueron realizados en base a los presentados por Brussa (1994) y Boland et al. (2006).

Los árboles adultos de *E. grandis* se caracterizan por ser ejemplares de gran porte, generalmente de 45 a 55 m de altura y 1,2 a 2 m de diámetro a la altura del pecho (DAP) (Figura No. 2). Su tronco es recto y posee muy buen desrame natural, lo que determina que sea una de las especies más preferidas con fines productivos. Su corteza es caduca y se desprende en largas fajas, la porción basal es persistente (1 a 3 m de altura) de textura escamosa. El ritidoma presenta una coloración gris verdoso a gris blanquecino (Figura No. 3.C).



Figura No. 2. Ejemplar adulto de *E. grandis*.

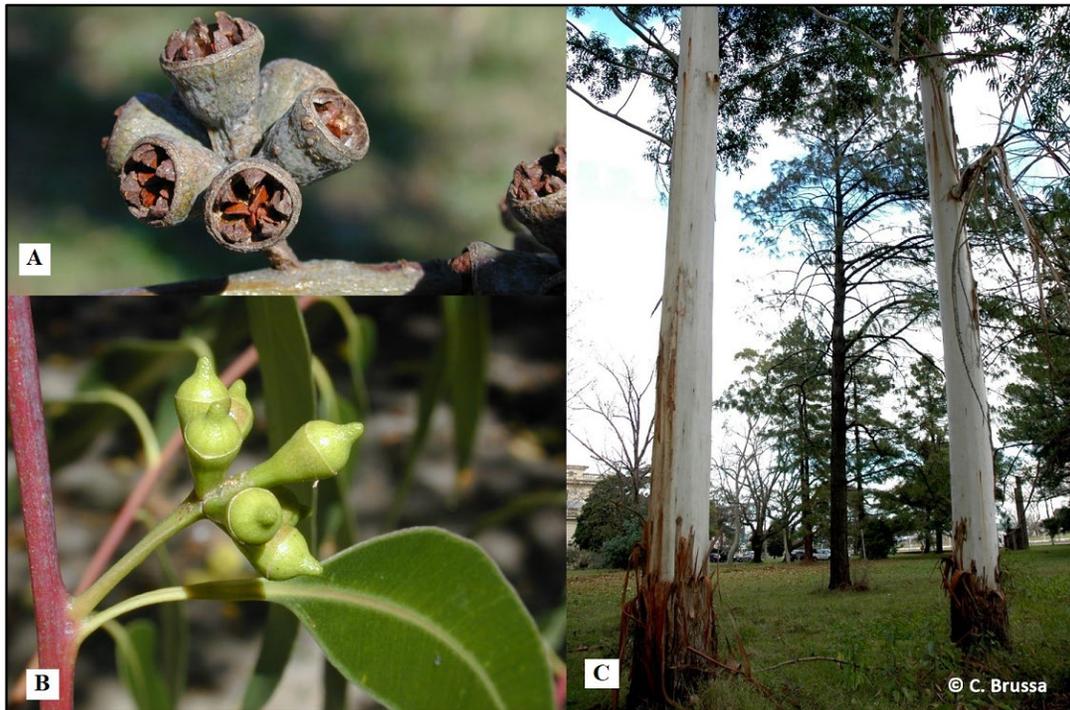


Figura No. 3. Caracteres morfológicos de *E. grandis* I. **A.** Infrutecencia, **B.** Inflorescencia, **C.** Aspecto general de su corteza.

**Fuente:** adaptado de Brussa (2011).

El follaje presenta una textura media a gruesa en donde las primeras hojas son opuestas y ovales. Las hojas juveniles son alternas, pecioladas (1-2 cm), ovales (6-12 x 5-9 cm), con el ápice agudo, acuminado, de base redondeada y color verde oscuro en el haz y muy discoloras (Figura No. 4.A). Las hojas intermedias son alternas, pecioladas (2-2,5 cm), de forma oval-lanceoladas (14-18 x 3,6 cm), con el ápice agudo, de color verdes oscuras, siendo también muy discoloras. Las hojas adultas son alternas, pecioladas (2-2,8 cm), de forma lanceoladas (10-18 x 2-3,5 cm), con el ápice agudo, de color verde oscuras, discoloras, con las nervaduras secundarias transversales (Figura No. 4.B).

Las Flores (7-11) se disponen agrupadas en inflorescencias simples, axilares, sobre pedúnculos achalados (Figura No. 4.B). Los botones florales son de forma ovoide o globosos (0,5-0,8 x 0,5-0,6 cm), generalmente glaucos, con pedicelos angulosos, mientras que el opérculo es cónico o rostrado, de menor tamaño que el hipantio (Figura No. 3.B). *E. grandis* florece a fines del verano y comienzos del otoño, aunque ocurre una segunda floración a comienzos de primavera de menor magnitud.

Los frutos son piriformes (0,5-1,1 x 0,4-0,9 cm), contraídos en el orificio y parcialmente en la zona central, con pedicelos cortos (Figura No. 2.A). El disco es plano, incluso, muy poco visible, con orificio deformado por la presencia de las valvas (4-5-6), las cuales son levemente excretas y curvas, con los ápices convergentes aún en la madurez.



Figura No. 4. Caracteres morfológicos de *E. grandis* II. **A.** Hojas juveniles, **B.** Hojas adultas y flores.

**Fuente:** figura B adaptada de Friday (2009).

En lo que refiere a la madera, la albura es de color rosa pálido y el duramen de color rosa a rojo claro, moderadamente durable, de grano recto, con densidad de secado al aire de 640 a 690 kg/m<sup>3</sup>. (Figura No. 5).



Figura No. 5. Aspecto general de la madera de *E. grandis*.

#### 2.4.3 Distribución natural y ecología de la especie

La especie es originaria de Australia en donde ocupa un área importante desde los alrededores de Newcastle en Nueva Gales del Sur hacia el norte en Bundaberg, Queensland. Crece también en pequeña proporción al oeste de Mackay en el centro de Queensland, cerca de Townsville al noroeste, Mt Elliot al sur y de Daintree en el norte de Queensland (Figura No. 6) (Boland et al., 2006). Se encuentra principalmente en llanuras o pendientes bajas, valles fértiles, comúnmente bordeando la selva tropical (Boland et al., 2006). *E. grandis* prefiere suelos húmedos, bien drenados, profundos, arcillosos de aluvión o de origen volcánico, aunque también se desarrolla con normalidad en suelos arenosos, siempre que sean lo suficientemente profundos (Resquin et al., 2020).

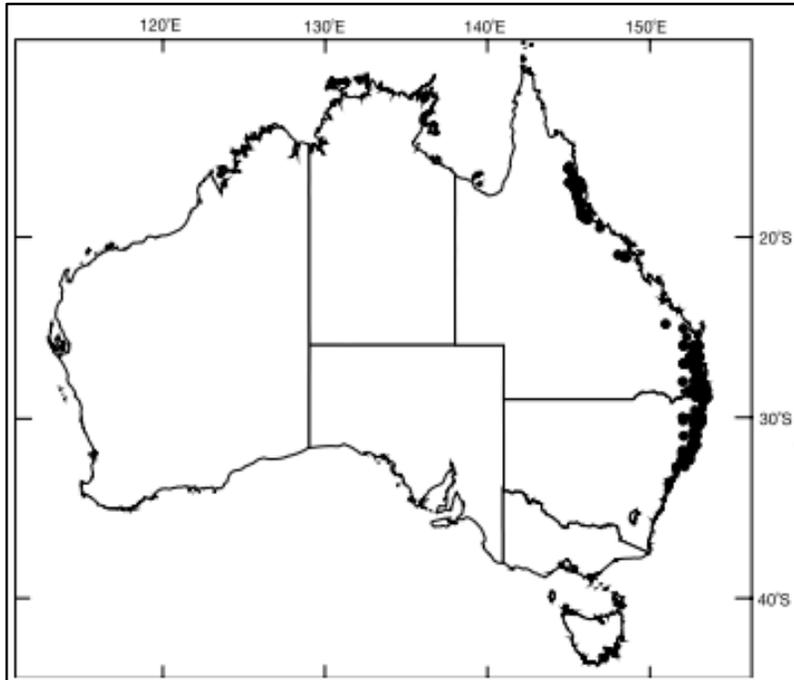


Figura No. 6. Área de distribución natural de *E. grandis*.

**Fuente:** tomado de Boland et al. (2006).

En relación con sus requerimientos climáticos, se desarrolla en clima templado (sur) hasta tropical (norte), con un promedio de temperaturas máximas de 24-30°C (sur) y 29-32°C (norte), y mínimas de 3-8°C (sur) a 10-17°C (norte) (Brussa, 1994). Es una especie que puede tolerar heladas escasas en localidades alejadas de la costa y precipitaciones estivales con una media anual de 1000 a 3500 mm (Boland et al., 2006).

## 2.5 COMPORTAMIENTO DE LA ESPECIE SEGÚN LAS CONDICIONES FISIOGRAFICAS DE URUGUAY

*E. grandis* es una especie que posee muy buena sanidad en general, lo que genera una disminución en los riesgos productivos (Balmelli y Resquin, 2006). En el país crece bajo condiciones de buena disponibilidad hídrica, con un régimen de precipitaciones en el entorno de los 1200-1600 mm anuales y condiciones de temperatura del entorno a los 12,9°C a 22,6°C promedio (Castaño et al., 2011), cuando las temperaturas óptimas para la especie oscilan en el rango de 5-32°C según Boland et al. (2006).

En el país se dispone tanto de semilla mejorada como clones seleccionados localmente gracias a planes de mejoramiento llevados a cabo por el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) y empresas privadas. La disponibilidad de material genético, la buena adaptación a nuestras condiciones edafoclimáticas, así como características propias de la especie no han significado una limitante para su producción (Balmelli y Resquin, 2006, Andreoni y Bussoni, 2014).

Las principales desventajas de la especie radican básicamente en la alta susceptibilidad que tiene a las heladas y suelos con altos contenidos de humedad, por lo que es ampliamente recomendable no plantarlo en zonas bajas de la topografía (Balmelli y Resquin, 2006). Esto se explica por la mayor probabilidad de ocurrencia de heladas en estas zonas, debido a la mayor densidad del aire frío, y a condiciones de anegamiento asociadas a humedales o cursos hídricos que generan condiciones inadecuadas para el desarrollo de la especie (Uranga, 2009). Dichas características ambientales pueden comprometer seriamente el crecimiento y la sobrevivencia de los individuos, afectando su productividad. Además, eventos de estrés asociados a las condiciones poco adecuadas del sitio pueden afectar el estado sanitario y predisponer a los árboles al ataque de enfermedades e insectos plaga (Balmelli y Resquin, 2006).

## 2.6 ASPECTOS SANITARIOS DE *Eucalyptus grandis* CON ÉNFASIS EN INSECTOS PLAGA

En *E. grandis* se han registrado ataques de diversas especies de insectos plaga: *Ctenarytaina spatulata* Taylor, 1997 (Hemiptera: Psyllidae), *Glycaspis Brimblecombei* Taylor, 1960 (Hemiptera: Aphalaridae), *Gonipterus scutellatus* Gyllenhaal, 1833 (Coleoptera: Curculionidae) *Phoracantha recurva* Newman, 1840, *Phoracantha semipunctata* Fabricius, 1775, *Atta vollenweideri* Forel, 1893, *Acromyrmex lundii* Guérin-Méneville, 1838, *Acromyrmex heyeri* (Hymenoptera: Formicidae) y *Leptocybe invasa* Fisher y La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) (FAO, 2006). Con excepción de las hormigas cortadoras de los géneros *Atta* y *Acromyrmex* que son nativas, el resto de las especies son exóticas, originarias de Australia como los eucaliptos.

A continuación, se desarrollarán las principales características y daños que pueden llegar a ocasionar los insectos plaga, clasificándolos como primarias o secundarias. Las plagas primarias se definen como aquellas especies que tienen la capacidad de atacar sin importar la condición fisiológica de los árboles, no discriminando entre débiles como sanos (Jorge et al., 2014). Las plagas secundarias son aquellas especies que ocurren en niveles poblacionales bajos y se tornan plagas cuando actúan de forma

conjunta con otros insectos (otra especie ataca primero a la planta haciendo que sea vulnerable), o cuando existen desequilibrios biológicos y/o cambios climáticos que favorecen su aumento poblacional u ocasionan estrés en los árboles favoreciendo su ataque (Corrêa et al., 2014).

*Ctenarytaina spatulata*, psílido de los brotes, es una plaga primaria que genera daños principalmente a nivel de brotes maduros en las zonas apicales de los árboles, generando lesiones necróticas, proliferación de brotes laterales y deformación en hojas (FAO, 2006). También es posible constatar presencia de secreciones azucaradas o polvillo blanquecino conocido como fumagina y muerte de ápices en ataques severos (Martínez, 2014b). Actualmente no generan perjuicios económicos considerables o estos son difíciles de valorar y no existe una metodología de manejo definida para su control. Presenta picos de abundancia durante el invierno, en los primeros meses de la primavera y en veranos secos debido a la mayor concentración de nitrógeno en las plantas, siendo una especie multivoltina (FAO, 2006, Martínez, 2014b).

*Glycaspis brimblecombei*, conocido como el psílido del escudo, también se trata de una plaga primaria, el mismo genera severas defoliaciones que causan una reducción en el crecimiento, llegando a matar el árbol en casos de ataques reiterados (FAO, 2006). La presencia de lerps (escudos blancos), posturas en masa de color amarillento y presencia de fumagina en hojas muy afectadas son los síntomas y signos más característicos de sus ataques (Martínez, 2014a). Además, provoca un estrés importante en los individuos, que lo predispone al ataque de otros insectos plaga como *Phoracantha spp.* y *Gonipterus scutellatus*. En plantaciones con fines comerciales puede provocar disminución de diámetro y altura, prolongando la edad de cosecha y por lo tanto aumentando los costos de producción (FAO, 2006). Está presente a lo largo de todo el año, aunque con una menor abundancia durante los meses de invierno. Las poblaciones de *G. brimblecombei* se manejan principalmente mediante control biológico, natural con el parasitoide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae) que mata a las ninfas antes de que alcancen su madurez (Martínez, 2014a). Puede darse el control natural por efectos climáticos como la precipitación, donde las lluvias intensas pueden degradar los escudos de las ninfas tornándose vulnerables al ataque de otros organismos como hongos entomopatógenos. Otra consideración para su control puede tratar de recambios en las especies o genotipos, por otros más resistentes o al menos tolerantes (FAO, 2006).

*Gonipterus scutellatus*, conocido como gorgojo del eucalipto, es un coleóptero de la familia Curculionidae que si bien tiene preferencia por *E. globulus* y *E. urophylla*, puede ser una potencial plaga de carácter primario para *E. grandis* (FAO, 2006). Los daños

se asocian a su alimentación, tanto de larvas como de los adultos, que consumen el limbo foliar generando disminución en el crecimiento, muerte de brotes y deformación de ápices (Cibils y Gómez, 2014). Además de generar condiciones de estrés que facilitan el ataque de plagas secundarias como *Phoracantha* spp. Puede estar presente durante todo el año (multivoltino), aunque se asocia al otoño, primavera e incluso parte del verano (Cibils y Gómez, 2014). Su manejo se realiza mediante el uso de control biológico mediante la liberación de la especie *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) una avispa que parasita los huevos del insecto y mediante manejo silvicultural a través de la aplicación de fertilizante para recuperar el vigor del árbol luego de una defoliación severa (Cibils y Gómez, 2014).

*Phoracantha recurva* y *Phoracantha semipunctata*, (Coleoptera: Cerambycidae) conocidos como “taladros del eucalipto”, son una de las principales plagas secundarias del género *Eucalyptus*. Son insectos floeofagos que atacan la madera a nivel de la corteza, cambium pudiendo llegar a la albura en árboles de poco diámetro. Esto genera pérdidas económicas importantes por muertes de árboles enteros o pérdida de vigor por anillamiento (FAO, 2006). Están presentes durante todo el año en sus diferentes estadios de desarrollo, presentando una generación en la zona sur del país y hasta dos en la zona norte (Jorge y Gómez, 2014). Los adultos son los responsables de la oviposición y se encuentran presentes desde fines de agosto hasta abril, pudiendo vivir por periodos de hasta treinta días después de su emergencia (FAO, 2006). Las larvas generan galerías verticales en el floema con aserrín compactado durante su alimentación, ocasionando los mayores daños (Jorge y Gómez, 2014). Para su control es fundamental la aplicación de técnicas silviculturales que eviten el estrés de los árboles como no plantar en zonas bajas, de mal drenaje y/o con altos contenidos de humedad. En caso de tener presente al insecto se recomienda realizar cortas sanitarias para eliminar su presencia, aunque lo más común es la utilización de árboles cebo. Es recomendable también no realizar podas y evitar dejar trozas con corteza en el campo durante el periodo de vuelo de los adultos (Jorge y Gómez, 2014). Hay también alternativas de control biológico por parasitoides de huevos *Avetianella longoi* (Hymenoptera: Encyrtidae), que está instalado en el campo (Jorge y Gómez, 2014).

Las hormigas cortadoras de hojas de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*, son consideradas de las principales plagas primarias que atacan el género *Eucalyptus*. Los principales síntomas y signos son hojas con cortes en forma de semicírculo, hojas cortadas por el peciolo, plantines cortados de raíz, ápice defoliado, presencia de caminos de forrajeo y nidos superficiales. En plantines menores a seis meses de edad la defoliación puede provocar la muerte, una sola colonia adulta puede llegar a afectar el 12% de una ha

(Bollazzi, 2014). Son las únicas plagas que se controlan mediante el uso control químicos, pudiendo ser de manera sistemática o preventiva. La misma consta en la aplicación de cebos tóxicos a base de un insecticida (fipronil o sulfluramida) y pulpa de naranja. Siendo la primavera la mejor época de control, ya que se evitan los vuelos nupciales y generación de nuevas colonias. Aún no se cuenta con alternativas que generen un impacto significativo y eviten utilizar este tipo de control únicamente (FAO, 2006, Bollazzi, 2014).

En último lugar, *Leptocybe invasa* o la avispa “agalladora” de los *Eucalyptus* es de las principales plagas de carácter primario y de las más dañinas en el mundo asociada a este género (Jorge et al., 2014). En los últimos tiempos se ha constatado su presencia en la especie de interés *E. grandis*. Por lo cual se realizará profundo hincapié durante este trabajo en las controversias y repercusiones que esta plaga implica.

## 2.7 GENERALIDADES DE *Leptocybe invasa* Y SUS EFECTOS CON ÉNFASIS EN *E. grandis*

### 2.7.1 Características ecológicas

*Leptocybe invasa* es una avispa de origen australiano perteneciente a la familia Eulophidae, la cual fue registrada por primera vez fuera de su zona de origen en Israel en el año 2000 (Mendel et al., 2004, Oates et al., 2015). Desde entonces se ha extendido a África, Asia, Europa y América, detectándose en alrededor de 39 países (Zhang et al., 2021). En Sudamérica su primera aparición fue en Brasil en el año 2008, mientras que en Uruguay se detectó en el año 2011 en Montevideo, comenzando a ser un problema real para varias especies del género a partir de agosto de 2013 (Jorge et al., 2016). El primer registro en *E. grandis* ocurrió en ensayos experimentales de INIA en Tacuarembó, donde se constató cierta asociación entre la aparición de la avispa y el cambio climático, el incremento de la comercialización, las rutas de transporte de mercadería y movimientos de personas (globalización), aunque también se ha constatado que el transporte de plantas y productos derivados como frutos, semillas, madera han significado una vía para la aparición de estos insectos plagas como enfermedades (Jorge y Molina, 2020). Si bien su ciclo de vida y número de generaciones anuales en Uruguay aún no se han constatado, la bibliografía señala que es posible encontrar hasta al menos tres generaciones anuales en zonas templadas (Mendel et al., 2004, Jorge et al., 2016, Jorge y Molina, 2020).

De acuerdo con Jorge et al. (2014) la descripción morfológica se realiza en base a las hembras, ya que los machos son muy difíciles de encontrar y por lo tanto se cuenta con poca información, tal es así que en principio se la consideraba una especie telítoca

(Mendel et al., 2004). En el año 2005 se describen por primera vez los machos (Doğanlar, 2005). La avispa presenta un tamaño muy pequeño pudiendo alcanzar los 1,1-1,4 mm de largo. Su cuerpo en general presenta una coloración castaño oscuro, con tonalidades azul-verdoso en el tórax confiriéndole un aspecto metalizado y el abdomen suele presentar bandas castaño-claras. En la cabeza, las antenas presentan el escapo más largo que el pedicelo, el cual se ensancha en su porción media. Las antenas presentan cuatro anillos, tres segmentos funiculares y la clava. La base de las antenas (escapo) es castaño claro, mientras que el funículo y la clava son castaños. El protórax es corto y el mesotórax está bien desarrollado. Las alas son hialinas, con pequeñas setas en toda su extensión y nervaduras apenas marcadas de coloración castaño claro. En el abdomen, el ovipositor presenta un mayor desarrollo interno, en el cual se puede ver externamente que las valvas son cortas (Figura No. 7).



Figura No. 7. Ejemplar adulto (hembra) *L. invasa*.

**Fuente:** tomado de Jorge et al. (2016).

Los primeros síntomas que aparecen tras los ataques de *L. invasa* son pequeñas líneas a ambos lados de las nervaduras centrales de las hojas producto del raspado del ovipositor con la epidermis (Jorge et al., 2016, Jorge y Molina, 2020). En sus hospedantes, las hembras son capaces de depositar entre 80 a 100 huevos (Mendel et al., 2004).

Alrededor de 30 a 40 días posteriores al ataque de la avispa para nuestras condiciones climáticas (CECOPE, 2017), se produce la formación de la agalla a partir de secreciones químicas que las larvas liberan durante la alimentación y la hiperplasia que ocurre en el tejido vegetal (Figura No. 8). El tamaño, coloración y forma de las agallas varía de acuerdo con el desarrollo del insecto (Jorge et al., 2014). Al comienzo las agallas poseen un color claro, verdoso (Figura No. 8.C) y en estados maduros, donde el insecto ya ha pupado y está próximo a emerger adquieren tonos más oscuros, rojizos a bordo (Figura No. 8.B) (Mendel et al., 2004, Jorge et al., 2014). Cuando el insecto está listo para mudar a adulto, perfora la agalla con las mandíbulas y emerge al exterior (Figura No. 8.F) (Jorge et al., 2016).

Según Jorge et al. (2014), a campo es fácilmente diferenciable de otros insectos agalladores, ya que las agallas de *L. invasa* siempre se ubican sobre la nervadura principal de las hojas y/o pecíolo (Figura No 8 A y D). Además, se pueden observar en ramas o tallos de plantas jóvenes. Si el ataque es reciente, se pueden encontrar raspaduras en modo de líneas rectas sobre el tejido o en caso de que el ataque se relacione a una población grande se puede llegar a observar a la propia hembra sobre las hojas en busca de sitios donde oviponer (Jorge y Molina, 2020).

La forma más eficiente para su detección temprana es a nivel de vivero, ya que a campo al tratarse de insectos tan pequeños la detección es compleja, y en la mayoría de los casos tardía, observándose solamente los síntomas. En fases posteriores al vivero, el monitoreo se ha vuelto una técnica ampliamente positiva para su detección, mediante la utilización de trampas amarillas adhesivas. Aun así, la identificación de la avispa se vuelve difícil ya que es necesario observar características específicas que requieren su observación bajo lupa estereoscópica (CECOPE, 2017).

Los daños ocasionados se asocian a las agallas, donde se genera curvado y deformación de las hojas y brotes (Figura No. 8.E). Ello se traduce en la reducción del área fotosintética final, generando en la planta un estado de estrés debido a la alteración del flujo normal de savia, ya que se reduce la conductancia hidráulica hacia tallo y hojas, siendo desviada hasta las agallas (Dantas et al., 2021). Este estado de estrés puede atraer a su vez a plagas de carácter secundario que se sienten atraídas a árboles debilitados y susceptibles. Daños muy severos por parte de *L. invasa* pueden generar serios niveles de defoliación e incluso la muerte en algunas plantas jóvenes (Jorge et al., 2014, Jorge y Molina, 2020). A pesar de lo descrito, realmente se cuenta con poca información científica que avale serios problemas en la tasa de crecimiento y propiedades de la madera de los árboles hospederos de *L. invasa* (Bobadilha et al., 2018).



Figura No. 8. Principales síntomas del ataque de *Leptocybe invasa* sobre individuos de *Eucalyptus grandis*. **A y D.** Agallas en nervadura principal y peciolo. **B.** Agalla en estado maduro con tonalidades rojizo-bordeaux. **C.** Agalla en primeros estadios de desarrollo, color claro verdoso. **E.** Curvado y deformación de hoja. **F.** Orificios de emergencia realizados por adultos.

### 2.7.2 Distribución de *L. invasa* en Uruguay

En el país, la distribución fue constatada mediante uso de trampeo en plantaciones comerciales de Soriano, Río Negro y norte de Paysandú, en las cuales no se constató presencia de agallas en los rodales. Estas sí fueron observadas en árboles aislados y cortinas cortavientos en Tacuarembó, Montevideo, Salto y Paysandú (Jorge et al., 2014),

y más recientemente en San José, Artigas y Salto (Jorge et al., 2016). Esta distribución evidencia una asociación con las rutas de comercio de madera en el país, lo cual podría suponer la introducción de la especie por medio del tránsito de vehículos de carga y/o personas desde los países limítrofes, Brasil y Argentina. El medio de ingreso a nuevas áreas se da principalmente por plantines infectados y/o troncos (CECOPE, 2017).

### 2.7.3 Hospederos

Diferentes especies e híbridos de eucalipto constataron diferentes niveles de susceptibilidad al ataque de *L. invasa* (Mendel et al., 2004), explicado principalmente por el número de agallas y alteraciones morfológicas (Dantas et al., 2021). Estas diferencias pueden estar relacionadas a factores ambientales y especialmente factores genéticos (Wilcken et al., 2015).

Las especies de eucalipto que son consideradas como susceptibles a la avispa agalladora son: *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. salina*, *E. viminalis*, *E. urophylla*, y algunos clones híbridos *E. grandis* X *E. camaldulensis*, *E. urophylla* X *E. grandis* (Mendel et al., 2004), además de *E. benthamii* e incluso *Corymbia citriodora*. Sin embargo, las especies consideradas más susceptibles son *E. grandis*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Jorge et al., 2016, Souza, 2016).

Mientras que las especies consideradas resistentes se tratan de: *E. alba*, *E. cladocalyx*, *E. cloeziana*, *E. dunnii*, *E. gomphocephala*, *E. leucoxydon*, *E. nitens*, *E. sideroxydon* (Jorge et al., 2016).

### 2.7.4 Estrategias de Manejo

En cuanto a las estrategias de manejo, hasta el momento no se cuenta con metodologías claras para mitigar el daño ocasionado por el ataque de *L. invasa*. (Jorge et al., 2014, Jorge y Molina, 2020). De manera preventiva en los países de la región, de constatarse la presencia de la plaga se ha optado por eliminar todos los plantines a nivel de vivero o árboles a campo que presenten síntomas. También se llevan a cabo fuertes restricciones de movimiento del material de propagación y monitoreo constante para tener un control sobre esta fase más sensible. En la fase silvícola se ha optado por restringir plantaciones de especies susceptibles en radios recomendables de más de 1000 m de distancia a cualquier vivero que pueda suponer un riesgo (CECOPE, 2017).

Otras alternativas ya no preventivas, si no de control directo suponen el uso de especies resistentes, control biológico (evaluación de uso de parasitoides) y/o control químico (insecticidas sistémicos sin efectividad clara).

En cuanto al control químico, este ha sido una alternativa con eficiencia variada a baja de resultados para el control de este insecto plaga (Jorge et al., 2014). La biología de *L. invasa* supone la primera limitante a este método, ya que las larvas se encuentran protegidas dentro de los tejidos vegetales en las agallas, por lo que insecticidas de contacto serían viables solamente para el control de adultos (Carvalho, 2016). Los insecticidas sistémicos han mostrado cierta efectividad en los primeros estadios larvales deteniendo el desarrollo de las agallas. Sin embargo, se utilizan solo en casos de emergencia y solo en las primeras etapas de vivero en los plantines antes de ser trasplantadas a campo (Carvalho, 2016). Recientemente se han estado probado insecticidas sistémicos, donde el grupo de neonicotinoides han demostrado ser los más eficientes, especialmente si se aplican de manera preventiva en viveros (Carvalho, 2016). Además, presenta un costo muy alto, el efecto suele ser temporal, afecta al ambiente y hasta puede impactar negativamente sobre los posibles enemigos naturales de la plaga. A nivel de campo, en extensas plantaciones de distintas especies de eucalipto sigue considerándose aún una alternativa inviable (Souza, 2016).

El control biológico surge como una de las alternativas más prometedoras para controlar las poblaciones de *L. invasa*. Si bien este tipo de control supone riesgos asociados (Souza, 2016), se considera una medida viable cuando se combina con otros métodos de control debido a sus beneficios ecológicos y económicos (De Clerq et al., 2011). Se han reportado varias especies de los géneros *Megastigmus* (Hymenoptera: Torymidae), *Aprostocetus*, *Selitrichodes* y *Quadrastichus* (Hymenoptera: Eulophidae) emergiendo de agallas de *L. invasa* (Kim et al., 2008, Kelly et al., 2012, Jorge et al., 2014, Huang et al., 2018). Israel surge como pionero en este tipo de control introduciendo varios de estos parasitoides antes citados para controlar a *L. invasa* (Mendel et al., 2017). Brasil comenzó con el uso de parasitoides para el manejo de la avispa agalladora del eucalipto en el año 2015, con la introducción desde Sudáfrica de la especie *Selitrichodes neseri* (Hymenoptera; Eulophidae). Esta especie presentó un desempeño muy exitoso, ya que lograba niveles de parasitismo de alrededor del 70% (Souza, 2016). Debido a la eficiencia, especificidad y facilidad de cría en laboratorio llevó también a que Chile y Argentina lo incorporaran a sus programas de control biológico de la plaga (Martínez et al., 2019). Uruguay comenzó los trámites en 2016 para comenzar a importar desde Argentina (INTA) a *S. neseri* e iniciar su programa de control para *L. invasa* con este parasitoide. En 2019 se hizo efectiva la importación y liberación de esta especie al país y estudios para su

multiplicación (Martínez et al., 2019). Infelizmente el parasitoide no consiguió establecerse, sin embargo, el programa aún está en proceso y se esperan obtener resultados sólidos a futuro.<sup>1</sup>

Por último, la resistencia de plantas a insectos ha sido propuesta como una buena metodología de manejo de insectos plaga a nivel forestal (Sniezko y Koch, 2017). La resistencia de los eucaliptos al ataque de *L. invasa* ha sido evaluada y se han obtenido resultados prometedores. Se han observado diferencias en los niveles de susceptibilidad entre especies y dentro de genotipos *Eucalyptus* (Dittrich-Schröder et al., 2012) encontrando materiales genéticos tolerantes y/o resistentes. Esto evidencia que existe potencial para utilizar estos materiales genéticos en las áreas afectadas por la plaga.

Oates et al. (2015) han identificado las principales vías de defensa de los eucaliptos a *L. invasa* mostrando diferencias en el avance de las agallas en las hojas entre los genotipos susceptibles y los resistentes. Los autores observaron diferencias en la presencia de fitohormonas, modificaciones de la pared celular, ciclo celular y metabolitos secundarios, y diferencias en los perfiles de terpenoides principalmente en respuesta a los ataques de *L. invasa*. Las fitohormonas son uno de los principales mecanismos de defensa de las plantas y juegan un papel fundamental a la hora de regular las respuestas al estrés biótico y abiótico. De hecho, Oates et al. (2015) detectaron que estas regulan en parte el desarrollo de las agallas. El refuerzo de la pared celular con lignina o suberina también ha demostrado ser otro mecanismo alternativo de defensa eficiente que han desarrollado algunas plantas contra los insectos picosuctores a la hora de alimentarse y constituye una alternativa frente al ataque de *L. invasa* (Oates et al., 2015).

Durante el ciclo celular y de metabolitos secundarios, se constató en *E. grandis* la expresión de alrededor de 11 genes inhibidores de las proteasas intestinales del insecto, lo que impulsa a la síntesis de proteínas resistentes a la interacción con *L. invasa* generando una defensa más efectiva (Oates et al., 2015). Estas proteínas actúan bloqueando las proteasas, lo que afecta directamente la capacidad del mismo de digerir el material vegetal (Oates et al., 2015). Finalmente, la concentración de terpenos ha demostrado ser otra barrera, en donde estas moléculas actúan a modo de señalización, generando la atracción de enemigos naturales y repeliendo la presencia de insectos plaga. Los eucaliptos tienen la capacidad de liberar gran cantidad de estos metabolitos secundarios a través de sus hojas tras el ataque de una plaga (Oates et al., 2015). Estos

---

<sup>1</sup> Jorge, C. 2022. Com. personal.

mecanismos complementan dentro de las plantaciones, junto con algún otro control una buena alternativa (Jorge et al., 2014, Souza, 2016).

## 2.8 HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL ATAQUE DE INSECTOS PLAGA

Las herramientas de diagnóstico suelen ser el paso inicial o previo para conocer y evaluar la biología de las plagas y así elaborar las mejores estrategias de manejo. A su vez permiten definir programas de investigación y extensión, evaluación de la efectividad de las medidas de control tomadas (por ejemplo, la eficiencia del uso de agentes de control biológico), estudio e interpretación de las curvas de progreso y cuantificación de daños por enfermedades y/o insectos plaga, así como la estimación de los umbrales de daño económico generados (Di Piero, 2015). También permiten reconocer síntomas y signos correctamente e identificar sobre qué partes de las plantas o etapa de crecimiento de la misma estos serán más probables de ser observados y/o potencialmente más peligrosos (Di Piero, 2015).

Dentro de las herramientas de diagnóstico existen principalmente dos métodos de análisis para plantas considerados como métodos directos, estos son la incidencia y severidad. La incidencia, también conocida como porcentaje o número de plantas afectadas, es una técnica usada sobre todo en plagas o enfermedades que afectan la totalidad de la planta o generan daños tales que detienen por completo su comercialización (Di Piero, 2015). La severidad en cambio hace referencia al porcentaje de área de tejido foliar afectado por el patógeno o plaga, siendo un parámetro de difícil instrumentación, ya que en muchos casos no es posible cuantificar todas las lesiones de la planta (Di Piero, 2015). Dadas las limitaciones prácticas que presenta la severidad se han desarrollado tres principales técnicas que facilitan su determinación: elaboración de claves descriptivas, escalas diagramáticas y uso de softwares informáticos avanzados (Di Piero, 2015).

Las claves descriptivas suelen utilizar escalas graduadas para cuantificar las enfermedades o daños por plagas lo que brinda resultados uniformes y capaces de ser comparados entre evaluadores (Di Piero, 2015).

Para estimar el daño causado por insectos plaga es frecuente que se clasifique las cantidades de daño en categorías, las cuales casi siempre son mal definidas y subjetivas, como el uso de términos de tipo: escaso, moderado y fuerte; o, ligero, mediano y avanzado. Esto supone una limitante, por lo que se requiere el uso de métodos que permitan una

cuantificación lo más precisa posible, como lo son las escalas diagramáticas (Leal Sáenz et al., 2012).

Las escalas diagramáticas son una representación ilustrada de una serie de plantas o partes específicas de ellas con diversos grados de daños por lo que se basan en la severidad del área afectada por el/los insectos de interés. Su uso facilita la evaluación de la cantidad de daño provocada por una enfermedad o insecto y brindan resultados exactos, precisos y reproducibles, tanto entre evaluadores experimentados como principiantes (Leal Sáenz et al., 2012, Boito et al., 2013, Di Piero, 2015). El número de categorías que se establecen en la escala diagramática suelen ser fundamentales cuando se toman en cuenta los planteamientos previos de otros autores o cuando se va a elaborar una nueva. Si el número de clases es reducido, la escala no tiene capacidad discriminativa o de resolución. En contraposición, si el número de clases es muy alto, se pierde tiempo decidiendo cuál es el mejor grado que concuerda con la muestra en observación. Por lo tanto, el número de clases debe representar significativamente el comportamiento del daño (Leal Sáenz et al., 2012).

Un ejemplo de aplicación de las escalas diagramáticas lo planteó Hirano et al. (2010) cuando estimó daños en diversos parámetros fisiotécnicos, como el efecto de la alimentación de insectos en la modificación o alteración del Índice de área foliar. Este señala que cuando no se realizan evaluaciones con escalas diagramáticas, se tiende a subestimar o sobreestimar los niveles de severidad, por lo cual es conveniente el empleo de las escalas diagramáticas para incrementar la precisión en casos similares. Las escalas diagramáticas son una herramienta muy eficiente de evaluación visual, que indica cuantitativamente el daño provocado por la plaga (Leal Sáenz et al., 2012).

En las últimas décadas el uso de softwares informáticos como soporte para el diagnóstico, monitoreo y evaluación de plagas agropecuarias se ha convertido en una herramienta indispensable para el control sanitario de muchos cultivos. Estas herramientas comprenden entre otras cosas: cartografía de base de los recursos naturales, sistemas de información georreferenciada (SIG), fotogrametría, utilización de imágenes satelitales, sensores remotos, entre otros.

Las herramientas geomáticas utilizadas en la vigilancia fitosanitaria basan sus estudios en la predicción inicial de distribución de las plagas, sobre todo en sus primeras etapas de desarrollo, donde suelen ser dispersas y con densidades poblacionales bajas (Heit y Sione, 2016). Estas herramientas combinan factores endógenos de los insectos con

factores ambientales para generar modelos de predicción. En este sentido, colaboran con la identificación de potenciales ambientes propicios para el desarrollo de los insectos, influyendo en la elección de especies y sitio de plantación. El disponer de la ubicación potencial de los insectos resulta en un monitoreo a campo más eficiente, reduciendo los tiempos operativos. La utilización de herramientas geomáticas puede significar un valioso recurso para mejorar la cuantificación del riesgo de establecimiento potencial de plagas exóticas y/o cuarentenarias en una nueva región geográfica (Heit y Sione, 2016), como lo es *L. invasa* para Uruguay o directamente de estar instalada brinde un panorama más claro y con él surjan las mejores alternativas a tomar.

Un ejemplo de estas herramientas son los modelos de distribución de especies (SDM), también conocidos como modelos de nicho, los cuales se utilizan para estudiar el impacto del cambio climático en la distribución geográfica potencial de las especies plaga o potencialmente plaga en una zona determinada. La distribución geográfica potencial de las especies se puede deducir de los factores ambientales como la temperatura máxima, la temperatura mínima, la humedad relativa, las precipitaciones, el clima, el suelo, la hidrología y topografía. Además, estos modelos utilizan factores propios de la especie, como su interacción con el ecosistema, su capacidad y medios de migración (Zhang et al., 2021).

Zhang et al. (2021) desarrollaron modelos de distribución espacial actual y futura para *L. invasa* en China, en donde procesaron una serie de variables climáticas mediante el uso del software MaxEnt. Este estudio encontró que la temperatura media anual es el factor climático más importante a la hora de determinar el rango de distribución para esta especie, contribuyendo al modelo en un 43,4%. La segunda variable en importancia fue el tipo de cobertura vegetal presente, seguido por las precipitaciones. Con estos modelos de predicción los autores elaboraron mapas de calor que buscan representar la posible distribución actual y futura de la plaga. Estas herramientas permiten identificar tendencias de difusión, siendo un insumo importante para el diagnóstico y control de especies plaga

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

##### 3.1.1 Localización

La investigación se desarrolló en el establecimiento “La Palma 2”, perteneciente a la empresa URUPLY S.A. (Lumin), localizado a 33,5 km al norte de la ciudad de Tacuarembó, a 7,5 km de la Ruta 5 “Brigadier General Fructuoso Rivera” sobre el km 414, en el camino “Cuchilla de la Palma”, departamento de Tacuarembó. Los rodales bajo estudio pertenecen a un Ensayo Clonal con fines comerciales de la especie *E. grandis* (Figura 9 y 10).



Figura No. 9. Ubicación general del ensayo “La Palma 2” a escala 1:80.000.

**Fuente:** Bing Aerial (2022). Coordenadas: 31°38'32.64" S-55°45'16.68" O.



Figura No. 10. Detalle de los rodales bajo estudio en el Ensayo “La Palma 2”.  
**Fuente:** Bing Aerial (2022). Coordenadas: 31°38'32.64" S-55°45'16.68" O.

### 3.1.2 Antecedentes Geológicos

Según la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000 de Bossi y Ferrando (2001) el establecimiento se encuentra sobre las areniscas de la Formación (Fm) Tacuarembó. Esta formación de edad Jurásica-medio, integra la parte media del grupo Batoví Dorado por encima de la Fm. Cuchilla del Ombú y por debajo de la Fm. Rivera. El grupo Batoví Dorado comprende un conjunto de rocas sedimentarias grises, pardas y amarillas, que están estratigráficamente ubicadas entre la cima del subgrupo Yaguarí-Buena Vista y el primer derrame basáltico del noroeste del país (Bossi y Navarro, 1988). La Fm Tacuarembó está integrada por areniscas muy finas, finas y finas a medias, cuarzosas a feldespáticas, a veces micáceas, arcillosas, de estratificación cruzada o paralela y de colores verdosos, rosados o grisáceos. El origen de los sedimentos es subacuático, conteniendo la totalidad de los restos fósiles descubiertos dentro del grupo (Bossi y Navarro, 1988).

### 3.1.3 Suelos y Topografía

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP. DSF, 1976), el ensayo se encuentra sobre la unidad de suelo Tacuarembó. En esta unidad dominan los suelos de tipo Acrisol Ocrico Abruptico o Luvisoles Ocricos (Melánicos) Abruptos/Típicos, mientras que los suelos asociados pueden ser Planosoles Districos Ocricos/Umbricos, Acrisoles Ocricos/Melánicos Abrupticos/Albicos o Inceptisoles Umbricos/Melánicos.

La topografía es de lomadas suaves con una pendiente media de 2,5%, donde la altura oscila entre 190 y 170 metros sobre el nivel del mar aproximadamente. Como se observa en la Figura No. 11, la zona más alta se encuentra dentro del rodal No. 1 y desciende en dirección hacia el rodal No. 4.

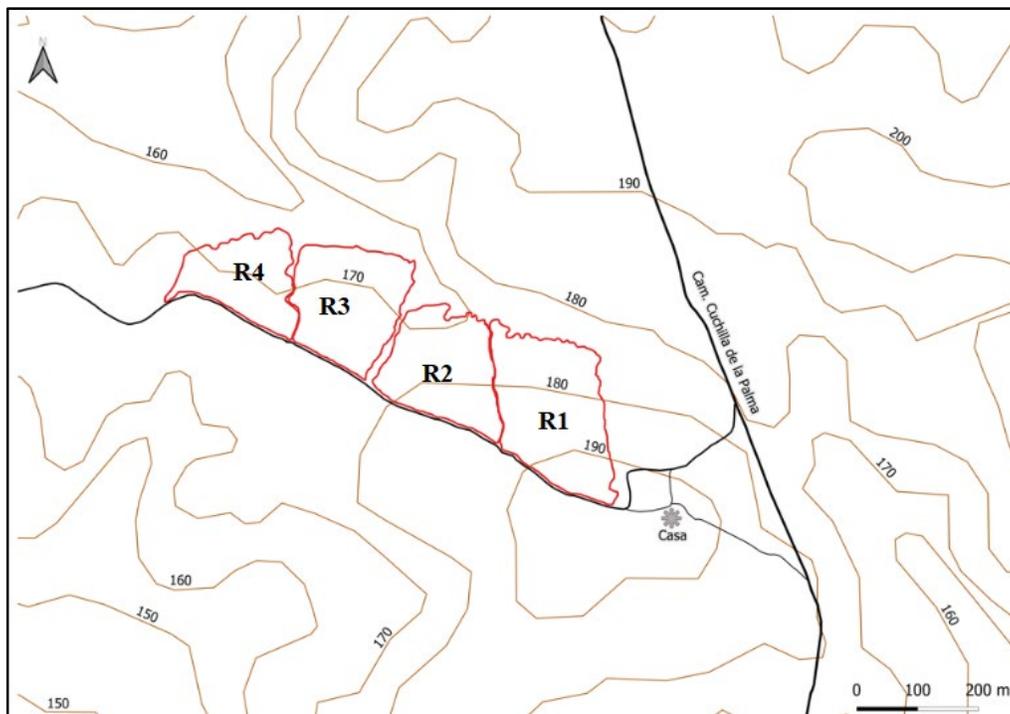


Figura No. 11. Variación topográfica en la zona de estudio. **R1.** Rodal No. 1. **R2.** Rodal No. 2. **R3.** Rodal No. 3. **R4.** Rodal No. 4.

### 3.1.4 Clima

La región climática de la zona norte de Tacuarembó donde se sitúa el predio se caracteriza por tener temperaturas medias anuales de 17,5 a 18°C, con máximas en los meses de enero - febrero que pueden llegar a los 32°C y mínimas que se presentan en los meses de junio - julio que disminuyen hasta los 4-5°C (INUMET, 2022).

El número de días con heladas anual que presenta la zona oscila entre 35 a 40 con posibles ocurrencias principalmente en los meses de junio y julio, pudiendo ocurrir algunas heladas tempranas en el mes de mayo o tardías en los meses de agosto, septiembre e inclusive en octubre (Castaño et al., 2011).

Las precipitaciones acumuladas anuales para la zona oscilan con valores promedio ascendentes hacia el Noreste de entre 1300 a 1400 mm (INUMET, 2022). Las precipitaciones en nuestro país no suelen tener una estación definida, presentando un régimen isohigro con variación interanual.

## 3.2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

### 3.2.1 Antecedentes

El ensayo se enmarca dentro del Programa de Mejoramiento Genético de Lumin, el cual comenzó a finales de los años 90. Corresponde a un ensayo clonal en la primera etapa de evaluación, es decir que se evalúan un elevado número de clones, utilizando pocos árboles por parcela. Estos tipos de ensayos buscan evaluar el comportamiento de distintos clones, para luego instalar los mejores materiales en un segundo nivel de pruebas, con mayor número de árboles y en donde se evalúen variables dasométricas, principalmente el volumen (árbol y por hectárea), previo a la instalación de plantaciones comerciales.

Previo a la plantación del ensayo de *E. grandis*, existía una plantación de *Pinus taeda* la cual se cosechó en el año 2016. Las actividades pre-plantación consistieron en la preparación del suelo realizada con herramientas de laboreo vertical (excéntrica), respetando los desagües naturales, bajos, caminos y rameros correspondientes a los restos de la plantación de pino. Se realizó fertilización en una única aplicación de fertilizante N/P/K en concentraciones 18/46/0 en una dosis de 120 g/planta. Los plantines provinieron del vivero Tres Cruces - Uruply S.A. abarcando un total de 164 clones y 11 testigos. La

plantación propiamente dicha se llevó a cabo de forma manual, plantándose individualmente cada árbol. La superficie de plantación abarcó unas 4 ha con un diseño de plantación de 3 metros en la fila y 4 metros en la entrefila, obteniéndose 370 parcelas de 9 árboles, lo que significó un total de 3330 árboles. A los 30 días post plantación, se realizó la reposición de plantines, con el objetivo de suplantar aquellos árboles que no sobrevivieron.

Los 164 clones evaluados fueron seleccionados de Ensayos de Progenie de *E. grandis* (población base) con material procedente de dos orígenes con distinto nivel de mejoramiento genético, Universidad de Florida (EE.UU) y Pomera Maderas (Paraguay, Argentina). Los demás clones fueron selecciones de árboles plus seleccionados en Colovade y Weyerhaeuser Productos S.A. (Wey). Los testigos corresponden a clones comerciales.

El origen Universidad de Florida se compone de 134 a 137 familias de medios hermanos procedentes de Huertos Semilleros de primera y segunda generación de la Universidad de Florida, Estados Unidos. Pomera reúne 68-69 familias de medios hermanos procedentes de un Ensayo de Progenie que utilizaba material genético del origen Florida y de otras partes del mundo incluido Uruguay. Los orígenes Wey y Colovade son clones comerciales propios de la empresa los cuales difieren en el periodo en el cual se realizó la selección. En el caso de Wey, se trata directamente de clones de las madres seleccionadas como árboles plus, a diferencia de Colovade en donde se seleccionan clones de la progenie de los árboles plus (previo la instalación de un ensayo de progenie), por lo que tienen distinto grado de mejoramiento. Los clones CHK son clones comerciales que se utilizan como testigos en el ensayo.

### 3.2.2 Diseño del ensayo

Los 164 clones se evalúan mediante un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA), generándose cuatro bloques (rodales) en función de la variabilidad topográfica del sitio (Figura No. 12). La unidad experimental es la parcela de 9 plantas organizadas bajo un esquema de plantación de 3x3 metros. El rodal N° 1 es el único que posee la totalidad de los clones ya que al momento de la plantación no se contaba con el número de plantas suficientes para que cada clon estuviese en los cuatro rodales. Debido a esto, el número total de parcelas es de 370: 172 parcelas en R1, 97 parcelas en R2, 61 parcelas R3 y 40 parcelas en R4.



Figura No. 12. Identificación de los rodales y clones dentro de cada parcela.

### 3.2.3 Información de las parcelas proporcionadas por la empresa

La empresa suministró un informe del establecimiento en donde se detallan los datos generales del programa de mejoramiento. En este documento se especifica el diseño utilizado, características del sitio, actividades silvícolas empleadas durante el desarrollo del mismo y la procedencia de cada clon. A su vez se presentó un croquis realizado en Excel con la distribución de las parcelas bajo estudio en sus correspondientes réplicas (Figura No. 12). Los datos comprenden mediciones de nivel de daño a los 6 meses, realizadas en el año 2018. El nivel de daño se evaluó mediante el uso de una escala visual desarrollada por la empresa (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Escala de nivel de daño empleada por la empresa en la evaluación de susceptibilidad de los genotipos a *L. invasa* a los 6 meses/año del ensayo.

<b>Escala</b>	<b>Daño</b>
0	Sin Daño
0,15	Pinchado solo
0,30	Pinchado solo con superbrotación
0,45	Con agalla
0,60	Con agalla y superbrotación
0,75	Con agalla más de 75% de la planta
0,90	Con agalla más de 75% de la planta con superbrotación

En base a la información anterior se realiza un análisis descriptivo del nivel de daño, elaborando un mapa de calor e histograma de frecuencia para visualizar la distribución del ataque del insecto en el ensayo.

### 3.3. ANALISIS ESTADÍSTICO

Para explicar el nivel de Daño causado por *L. invasa* se utiliza un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM). Un modelo lineal generalizado, es un modelo lineal donde la variable de respuesta puede tener cualquier distribución que sea un miembro de la familia exponencial. El ajuste del modelo y la estimación de los parámetros se realiza

mediante el método de máxima verosimilitud, a diferencia de los modelos con variable de respuesta normal, los cuales utilizan mínimos cuadrados estándar (Montgomery, 2004).

El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico R, con la interfase RStudio, elaborando diferentes modelos para explicar el nivel de daño. El modelo empleado tiene la variable clon como efecto fijo y las variables parcela y bloque como efectos aleatorios. Este modelo fue el que presentó menor valor de AIC, BIC y Devianza residual

```
modelo <- glmmTMB(ND ~ clon + (1|bloque:clon) + (1|bloque), data=data, family='binomial')
```

El modelo utiliza una regresión logística, empleando como función link la distribución Logit para transformar los datos. Utilizamos la familia Binomial, entendiendo que la respuesta categórica multinomial es una variante de esta. Luego de definir el modelo se estima la significancia de las variables a través de un Análisis de Devianza. Este modelo cuantifica dos fuentes de error: el efecto aleatorio de la interacción bloque\*clon y el error de submuestreo asociado a tener más una observación por unidad experimental (9 árboles por parcela).

En caso de que los efectos fijos sean significativos, se ajustan las medias por nivel de daño para cada clon y se procede a realizar un Test de Tukey. La prueba de Tukey establece un ranking en donde las letras indican pares de medias que son significativamente diferentes a un nivel  $\alpha$  de 0,05 (Montgomery, 2004). Los diferentes grupos comprenden aquellos clones que poseen igual ranking (letras iguales).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE LOS DIFERENTES CLONES DE *E. grandis*

Se registraron 6 categorías de nivel de daño para las parcelas evaluadas: 0,15 (pinchado solo); 0,30 (pinchado solo con superbrotación); 0,45 (con agalla); 0,60 (con agalla y superbrotación); 0,75 (con agalla más de 75% de la planta) y 0,90 (con agalla más de 75% de la planta y con superbrotación). No se observaron datos para la categoría 0, es decir que no existen parcelas sin daño para los clones y testigos evaluados.

Se observó la siguiente frecuencia para las categorías por nivel de daño: 33 parcelas con categoría 0,15; 133 parcelas con categoría 0,30; 83 parcelas con categoría 0,45; 76 parcelas con categoría 0,60; 19 parcelas con categoría 0,75 y 26 parcelas con categoría 0,90 (Figura No. 13). La categoría 0,30 fue la que presentó la mayor frecuencia, observándose en el 36% de las parcelas.

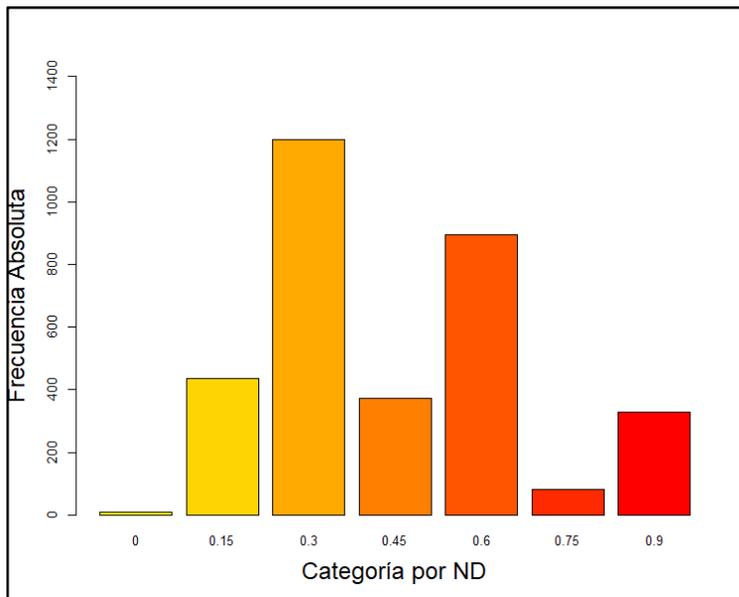


Figura No. 13. Histograma de Frecuencias para cada categoría de nivel de Daño.

En la Figura No. 14 se observa el mapa de calor elaborado con la distribución y el patrón de daño de *L. invasa* en la plantación de *E. grandis* en estudio.

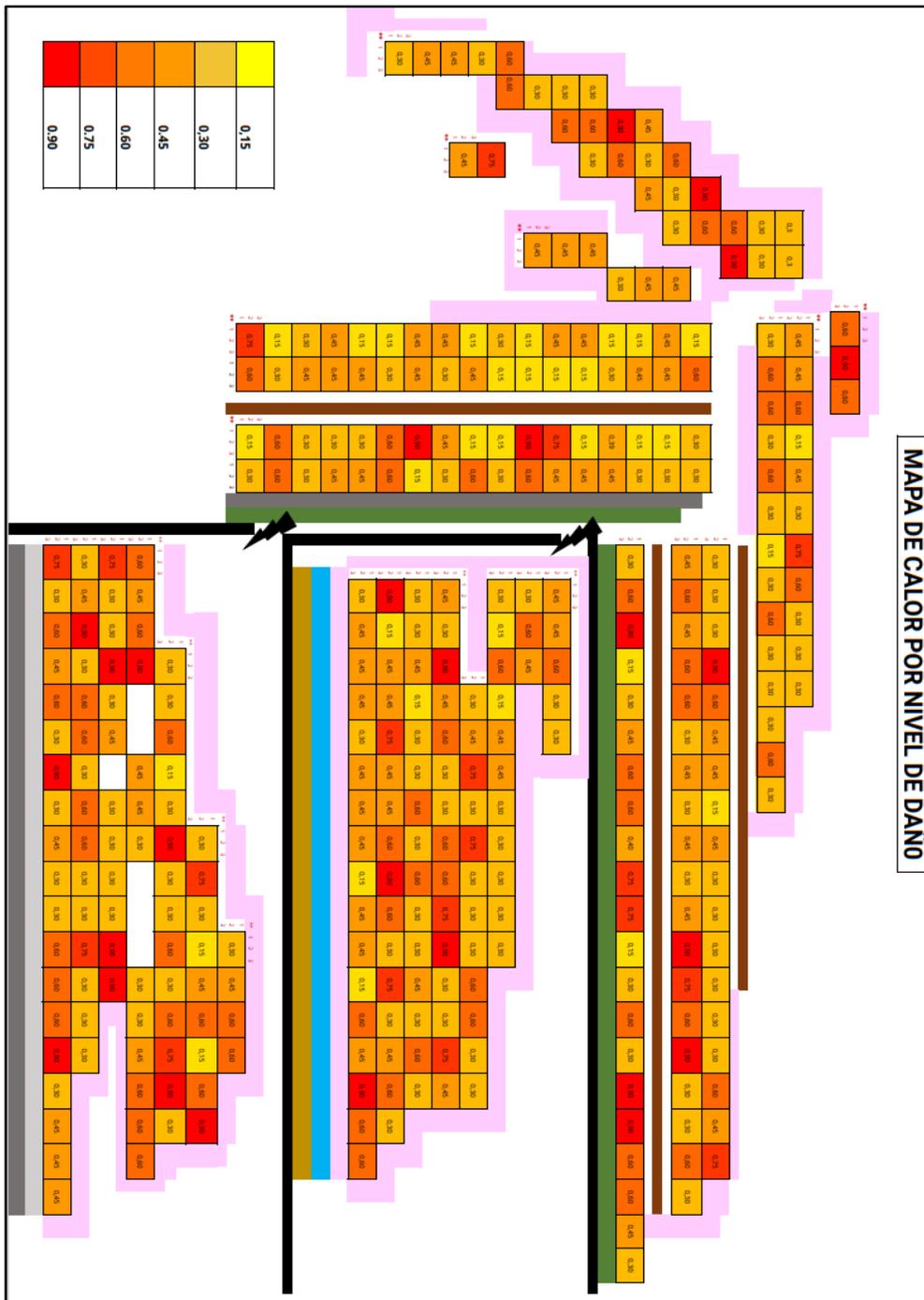


Figura No. 14. Mapa de Calor por nivel de Daño para L. invasa.

#### 4.2 COMPARACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE DIFERENTES CLONES DE *E. grandis* A *L. invasa*

El análisis de Devianza arrojó un p-valor de  $7.288e-16$  para la variable clon indicando que la misma es significativa en el modelo. En el modelo no se incluye la variable Origen ya que esta no es significativa ( $p\text{-valor} = 0.06847 > 0.05$ ).

Con niveles de significancia del 95% el Test de Tukey (Figura No. 15) agrupó los clones que presentan un comportamiento similar frente al ataque de la plaga mediante la comparación múltiple por parejas (IBM, 2022).

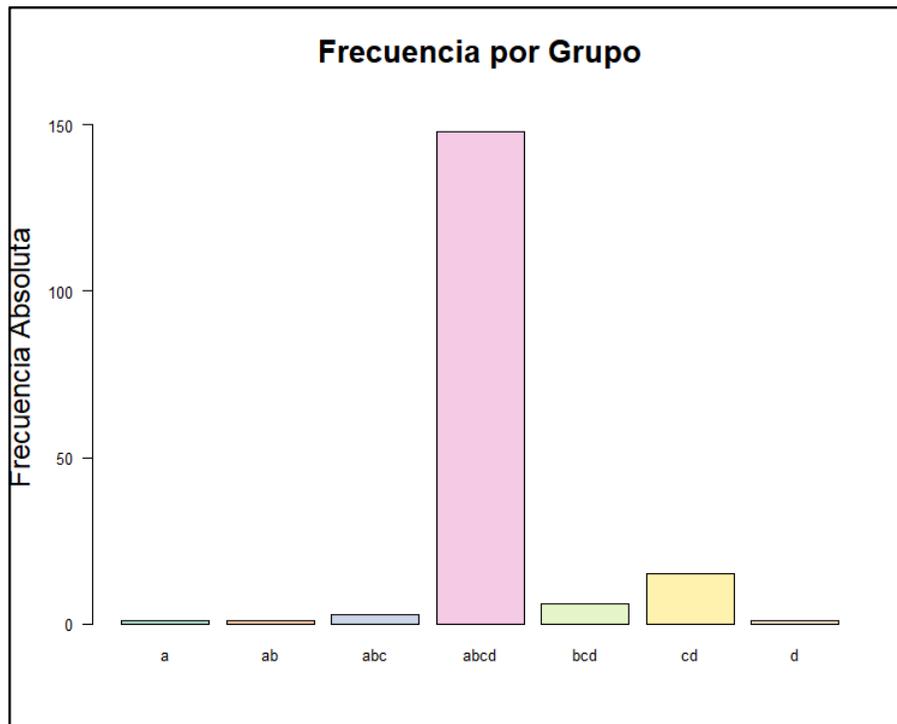


Figura No. 15. Frecuencia absoluta de letras asignadas a los clones mediante el Test de Tukey.

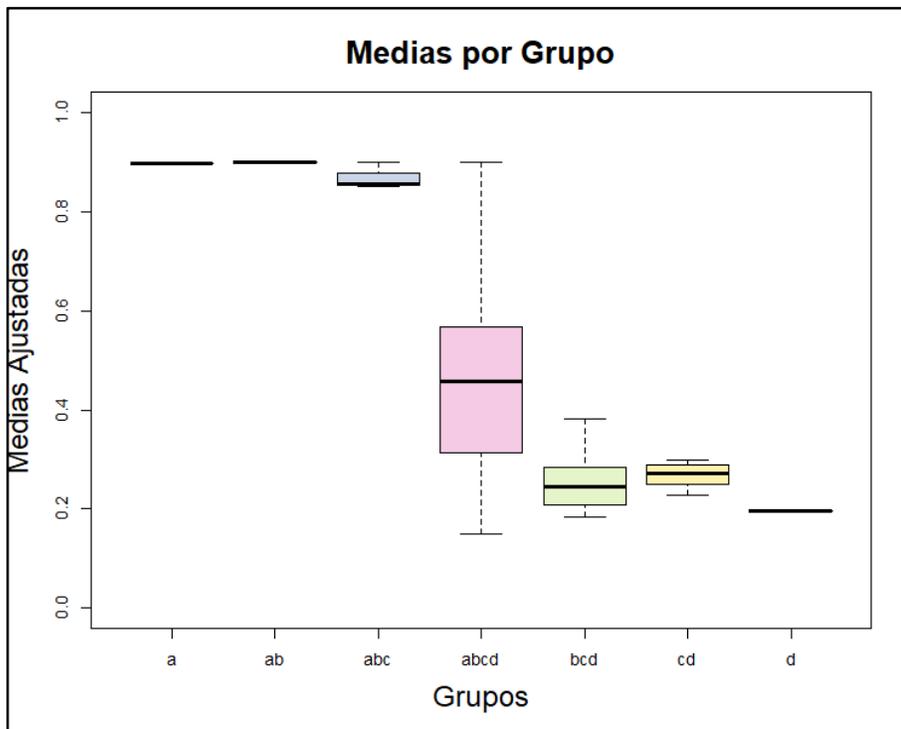


Figura No. 16. Medias ajustadas de nivel de daño por grupo.

Se observó la siguiente frecuencia para los grupos generados mediante el test de Tukey: 1 clon para el grupo a, 1 clon para el grupo ab, 3 clones para el grupo abc, 148 clones para el grupo abcd, 6 clones para el grupo bcd, 15 clones para el grupo cd y 1 clon para el grupo d.

La frecuencia no tiene una distribución homogénea en los 7 grupos, si no que la mayoría de los clones (85%) se concentran en el grupo central (abcd). Dado que este grupo comprende a todas las letras del ranking esto permite afirmar que el comportamiento de estos clones frente al ataque de la plaga no difiere del resto.

En las Figuras No. 17-20 se puede observar la media ajustada por nivel de Daño para los 164 clones y los 11 testigos, así como el grupo del Test de Tukey al cual pertenecen.

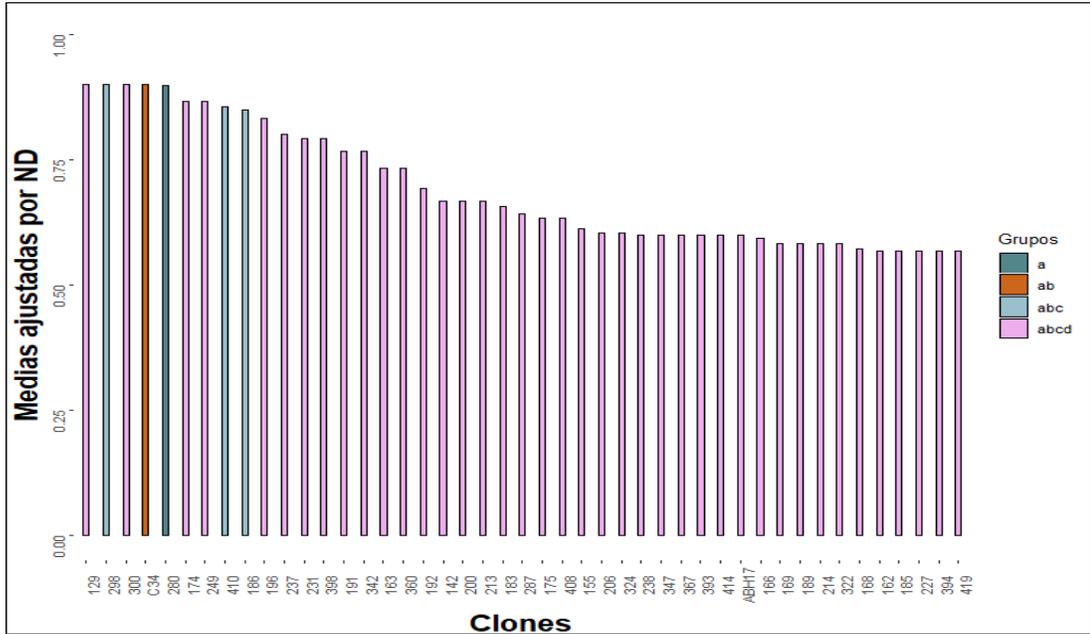


Figura No. 17. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados I.

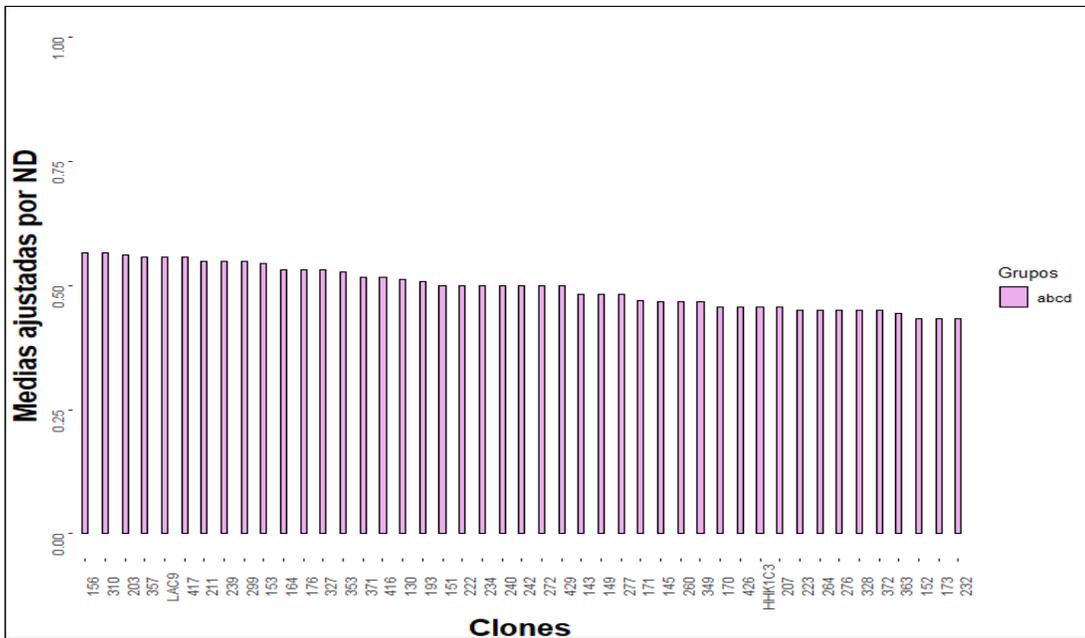


Figura No. 18. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados II.

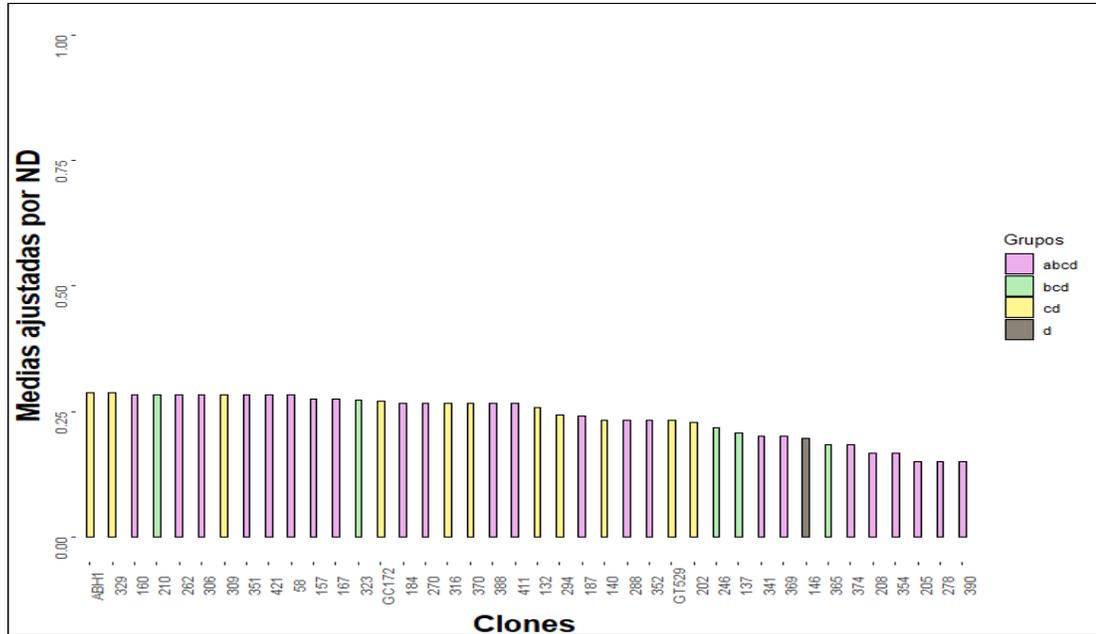


Figura No. 20. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados III.

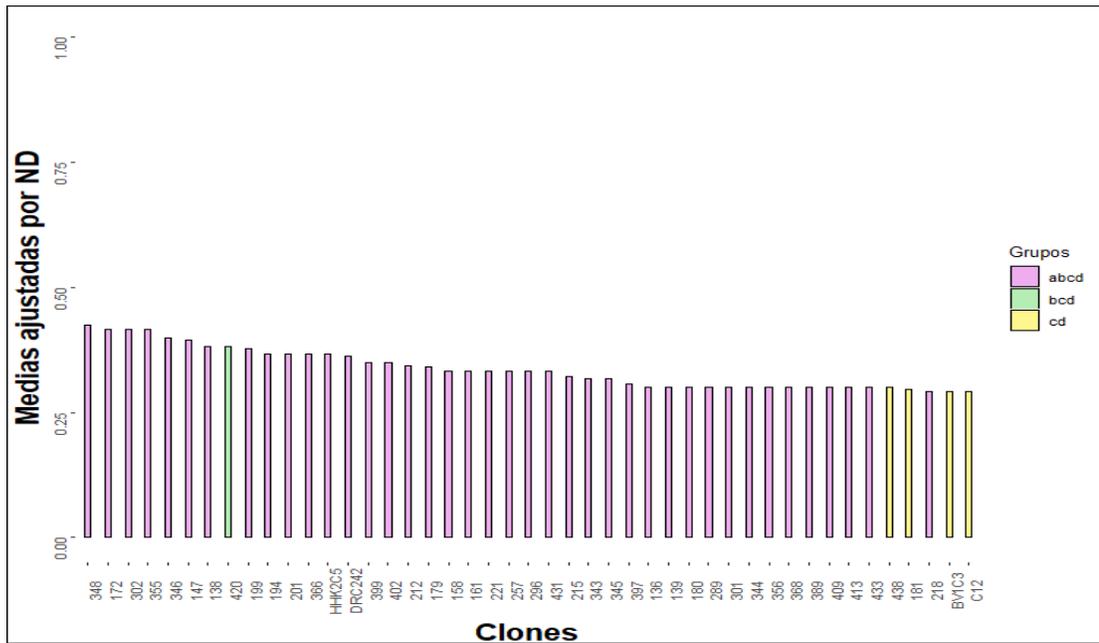


Figura No. 19. Medias ajustadas por nivel de daño para los clones evaluados IV.

## 5. DISCUSIÓN

El uso de escalas para evaluar el nivel de daño, incidencia y/o severidad del ataque de insectos plaga y enfermedades es comúnmente empleado en evaluaciones del estado sanitario en plantaciones forestales y agrícolas. En el presente estudio se utilizó una escala visual basada en los síntomas ocasionados por *L. invasa* para analizar el comportamiento de diferentes clones de *E. grandis* que fueron afectados naturalmente por la plaga en un ensayo clonal en el departamento de Tacuarembó.

Estudios enfocados en evaluar la susceptibilidad de los eucaliptos al ataque de *L. invasa* han mostrado que existe una gran variabilidad en la respuesta entre especies e incluso en genotipos dentro de una misma especie (Dittrich-Schröder et al., 2012). La mayor parte de éstos suelen estar basados en escalas de porcentaje de daño en el que se evalúa el efecto de la plaga mediante los síntomas y el daño observado en los diferentes genotipos. Los resultados obtenidos en el presente trabajo mostraron que todos los clones de *E. grandis* evaluados a los 6 meses post plantación presentaron síntomas de ataque de la avispa agalladora del eucalipto y por tanto algún nivel de susceptibilidad a dicho insecto plaga (Figura No. 13 y 14). *Eucalyptus grandis* y algunos de sus híbridos como *E. nitens* × *E. grandis*, *E. grandis* × *E. camaldulensis*, *E. grandis* × *E. urophylla* y *E. grandis* × *E. camaldulensis* han sido reportados como susceptibles a resistentes al ataque de dicha plaga (Nadel y Slippers, 2011, Dittrich-Schröder et al., 2012, Petro et al., 2014, Carvalho et al., 2016, Chilima et al., 2017, Dantas et al., 2021). Los plantines y las plantaciones jóvenes son las etapas de la fase de crecimiento de los eucaliptos en que son preferidos por *L. invasa* para la oviposición y por tanto suelen ser más susceptibles a presentar daños más severos que en árboles adultos (Mendel et al., 2004, Thu et al., 2009, Petro et al., 2014, Jorge y Molina, 2020). Teniendo en cuenta que nuestro estudio fue realizado en una plantación joven de *E. grandis*; especie considerada de susceptible a resistente; era esperable que los clones estudiados pudieran presentar un nivel de daño considerable.

A nivel internacional se han realizado varios estudios para evaluar la susceptibilidad de *Eucalyptus* spp. frente al ataque de *L. invasa* en etapas iniciales de crecimiento y obtuvieron resultados coincidentes con los obtenidos en el presente trabajo. Chilima et al. (2017) comparando el comportamiento de plantas jóvenes de seis especies de *Eucalyptus* a la exposición de hembras de *L. invasa* en un vivero en la República de Malawi, observando daño en todos los materiales evaluados con diferentes niveles de daño de bajo, medio a severo. Dichos autores indicaron que *E. grandis* fue la especie que presentó el mayor índice de daño promedio siendo catalogado como daño severo. Thu et al. (2009) evaluaron la susceptibilidad de 18 especies de *Eucalyptus* de 23 procedencias a

nivel de vivero y plantaciones jóvenes de origen seminal en Vietnam. Las procedencias de *E. grandis* presentaron un daño severo en vivero y alto a nivel de campo con un índice de daño de 65 y 92% para las procedencias evaluadas. Atanasio et al. (2020) realizaron un ensayo con 49 materiales de *Eucalyptus* spp. e híbridos de origen seminal y clonal en los que evaluaron el nivel de severidad a los 3, 6 y 12 meses de edad. Dichos autores observaron un mayor daño a los 6 meses en comparación con las evaluaciones realizadas a los 3 y 12 meses.

Por otra parte, Petro et al. (2014), en un estudio realizado en plantaciones jóvenes (1 a 3 años) y en plantaciones de edad media (4 a 6 años) en Tanzania no se observaron daños por *L. invasa* en *E. grandis*. Naidoo et al. (2018) mencionan que si bien *E. grandis* presenta cierto nivel de susceptibilidad a la avispa agalladora del eucalipto, algunos genotipos presentan una mayor tolerancia debido a la presencia de terpenos que colaboran con la resistencia de la especie al ataque de la plaga. Por tanto, a pesar de no haber encontrado diferencias significativas entre los diferentes clones estudiados, el reporte por parte de varios autores de diferencias en el comportamiento de los genotipos dentro de *E. grandis* al ataque de *L. invasa* denota la importancia de poder continuar con los estudios para seleccionar material resistente o tolerante de la especie de gran interés para el país.

En relación a la distribución de *L. invasa*, no se observó una zonificación clara y no se pudieron distinguir zonas con diferentes niveles de daño. El mapa de calor (Figura No. 14) demuestra que en esta plantación no se observó un patrón de ataque definido, observándose en el ensayo parcelas con distinto nivel de susceptibilidad distribuidas de forma aleatoria en los cuatro rodales estudiados. Las poblaciones de insectos pueden verse afectadas por factores bióticos y abióticos que inciden directa y/o indirectamente favoreciendo o perjudicando su establecimiento y su viabilidad en tiempo y espacio determinados. Dentro de los factores bióticos se encuentran las condiciones fisiológicas del hospedero, la presencia de enemigos naturales que inciden en la regulación poblacional, así como la competencia intraespecífica por los recursos (alimentación, sitios de oviposición, pareja), entre otros (Corrêa et al., 2014). En relación a los factores abióticos la temperatura, precipitación, índice UV, fotoperíodo, condiciones edáficas son los más importantes, afectando tanto a los insectos plaga como a sus hospederos. Estos resultados eran esperables ya que en el área de estudio no existían diferencias de sitio relacionadas a condiciones edáficas y microclimáticas que pudieran generar distintos niveles de daño, por lo que las diferencias en el nivel de daño de las parcelas se atribuyen a factores genéticos de los clones. Este resultado coincide con Nyeko et al. (2010).

Si bien el mapa de calor permitió identificar parcelas con diferentes niveles de daño, es importante destacar que estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de los clones evaluados (Figuras No. 17-20). En coincidencia con lo planteado por Carvalho et al. (2016), Thu et al. (2009) y Dittrich-Schröder et al. (2012), consideramos que es de suma importancia establecer diferencias y conocer el grado de susceptibilidad y/o resistencia de un genotipo como estrategia fundamental para controlar la plaga en el largo plazo.

En mayor o en menor medida, las plantaciones forestales de eucaliptos pueden ver comprometida su productividad frente a la amenaza que supone la expansión de diversos insectos plaga nativos de Australia (Lawson et al., 2012, Zheng et al., 2014). En tal sentido, Nyeko et al. (2010) indican que en respuesta al ataque de *L. invasa* el crecimiento de los árboles puede retrasarse o incluso provocar la muerte de la planta. Si bien, en este trabajo no se evaluó el efecto del ataque sobre las variables dasométricas, hay reportes que indican una reducción de hasta el 25% del diámetro a la altura del pecho en árboles de tres años atacados por *L. invasa* en comparación con árboles sanos (Bobadilha et al., 2018), por lo cual se deduce la importancia de realizar evaluaciones de impacto del ataque en plantaciones de Uruguay.

## 6. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo permitió identificar la necesidad de la realización de estudios a nivel nacional que complementen los resultados obtenidos, para poder así avanzar en el conocimiento de *L. invasa* y su impacto en las plantaciones forestales de eucaliptos de Uruguay, de manera tal de establecer estrategias de manejo adecuadas.

Desde su detección en Uruguay en el año 2011 son escasas las investigaciones con respecto a la incidencia y nivel de daño que *L. invasa* puede generar. Además, falta conocer con mayor detalle la ecología de la plaga (ciclos anuales, dinámica poblacional) y su comportamiento en nuestro territorio (distribución).

Se considera pertinente también evaluar el nivel de daño que genera la plaga en las distintas etapas de la rotación y a que niveles su impacto incide directamente en el rendimiento y/o mortandad de los árboles. Los estudios deberían contemplar en qué medida se ven afectadas variables de crecimiento como el DAP, altura y volumen, además de aspectos fisiológicos y/o sanitarios como el estrés y predisposición al ataque de plagas secundarias.

Como se observó las escalas son una herramienta fundamental en el diagnóstico de plagas, por lo que elaborar escalas visuales ajustadas, con su debido detalle, respaldo y fijación de un nivel crítico es una buena técnica preventiva para ilustrar la situación del monte al momento de estudio. Además, la utilización de los modelos estadísticos ajustados pueden recabar información del nivel de daño como de las características relacionadas a la dinámica de la plaga y variables climáticas (temperatura y precipitaciones), ecología y comportamiento en las diferentes estaciones, características del sitio que permitan extrapolar el modelo a diferentes sitios o incluso a diferentes especies dentro del cultivo por ejemplo con especial énfasis en especies con grandes proyecciones futuras como lo son *E. dunnii* y *E. smithii*. La generación de modelos puede resultar clave como herramienta de diagnóstico y sistema de alerta.

Aun así, tanto a nivel nacional como a nivel mundial las alternativas para el control son aún escasas, si bien se han planteado alternativas a nivel de mejoramiento genético, control biológico con parasitoides y control químico, ninguna de estas es un medio de control con total efectividad, por lo que hacer hincapié en buscar soluciones efectivas para generar estrategias de prevención y control.

## 7. CONCLUSIONES

En Base a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se concluye que:

- Se encontraron clones con diferencias significativas en relación a la susceptibilidad frente al ataque de *L. invasa*, observándose síntomas de ataque en todas las parcelas evaluadas a los 6 meses post plantación
- La distribución espacial del nivel de daño en las parcelas no sugiere que exista influencia directa del sitio al no observarse patrones definidos de ataque en el área de estudio. La categoría 0,30 (pinchado solo con superbrotación) fue la que presentó la mayor frecuencia, observándose en el 36% de las parcelas.
- El modelo desarrollado en el presente trabajo permitió evaluar qué variables podrían influenciar en el nivel de daño evaluado mediante el uso de la escala visual utilizada para evaluar el efecto del ataque de *L. invasa* en los diferentes clones de *E. grandis*. También permitió establecer que el genotipo tiene efecto significativo en el modelo lo que explica el nivel de daño. El Test de Tukey no logró identificar grandes diferencias entre los genotipos evaluados.
- Como consideraciones finales queremos remarcar que el presente trabajo identificó la necesidad de realizar investigaciones a nivel nacional para un manejo adecuado de esta plaga de gran interés forestal.

## 8. RESUMEN

El sector forestal uruguayo se ha caracterizado por la implementación de grandes superficies con una baja diversidad genética, pocas especies y de origen clonal. En la actualidad *Eucalyptus grandis* es la especie más plantada, con más de 250.000 ha de plantaciones forestales mayores a 3 años. El ingreso de nuevas plagas al país puede suponer un eventual riesgo sanitario que comprometa la estabilidad de estos monocultivos, como lo es la avispa agalladora del eucalipto *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae). En Uruguay se constató por primera vez la presencia de esta especie de insecto plaga en 2011, tornándose un problema para las plantaciones desde su detección. Los principales daños se asocian a la formación de agallas en la nervadura central, peciolo de las hojas, ramas e incluso troncos de plantas jóvenes lo que genera síntomas como deformación de hojas traduciéndose en una reducción del área fotosintética y pérdida de crecimiento. Esto genera un estado de estrés en la planta el cual predispone a la misma al ataque de plagas secundarias o incluso en ataques muy severos puede llegar a ocasionar la muerte de las mismas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la susceptibilidad de distintos clones de *E. grandis* al ataque de la avispa agalladora del eucalipto *L. invasa*, en un ensayo clonal ubicado en el departamento de Tacuarembó. Se evaluaron 164 clones y 11 testigos comerciales mediante un DBCA conformado por 370 parcelas distribuidas en cuatro bloques (rodales). El nivel de daño se midió a la edad de 6 meses mediante el uso de una escala visual y el modelo que describe su comportamiento es un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM), con la variable clon como efecto fijo y las variables Parcela y Bloque como efectos aleatorios. No se observaron parcelas sin daño, es decir que todos los clones evaluados presentaron síntomas de ataque en mayor o menor medida. El análisis de Devianza indicó que la variable clon fue significativa en el modelo con un p-valor de  $7,288e^{-16}$ , indicando que existe efecto del genotipo en la respuesta frente al nivel de daño. Sin embargo, la prueba post-hoc Test de Tukey no evidencio grandes diferencias entre los clones evaluados.

Palabras clave: sanidad forestal, avispa agalladora del eucalipto, nivel de daño

## 9. SUMMARY

The Uruguayan forestry sector has been characterized by the implementation of large areas with a low genetic diversity, a few numbers of species and from clonal origin. *Eucalyptus grandis* is currently the most planted species, with more than 250,000 ha of forest plantations older than 3 years. The entry of new pests into the country supposes an eventual health risk that compromises the stability of these monocultures, such as the galling wasp of the eucalyptus *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae). In Uruguay, the presence of this pest insect species was noted for the first time in 2011, becoming a problem for plantations since it was detected. The main damages are associated with the formation of galls on the main veins, leaves petioles, branches and even trunks of young plants, which causes symptoms such as leaves deformation resulting in a reduction of the photosynthetic area and a loss of growth. This generates a state of stress in the plant which predisposes it to the attack of secondary pests or even in severe attacks can cause their death. The objective of this work was to evaluate the susceptibility of different clones of *E. grandis* to the attack by the galling wasp of the eucalyptus *L. invasa*, in a clonal trial located in the department of Tacuarembó. A total of 164 clones and 11 commercial controls were evaluated by means of a DBCA consisting of 370 plots distributed in four blocks (stands). The level of damage was measured at the age of 6 months using a visual scale and the model describing its behavior is a Mixed Generalized Linear Model (GLMM), with the clone variable as a fixed effect and the variables Plot and Block as random effects. No plots were observed without damage, that means, all the clones evaluated showed attack symptoms to a greater or lesser extent. The Deviancy analysis indicates that the clone variable was significant in the model with a p-value of 7.288e-16, indicating that there is an effect of the genotype on the response to the damage level. However, the post-hoc Tukey Test did not show major differences between the clones evaluated.

Keywords: forest health, *Eucalyptus* gall wasp, damage level

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Andreoni, M. 2010. Evaluación del incremento generado, en la cadena Foresto Industrial, por el uso de materiales genéticos mejorados de *Eucalyptus grandis* para producción de celulosa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 86 p.
2. \_\_\_\_\_.; Bussoni, A. 2014. Evaluación económica de dos programas de mejoramiento genético en *Eucalyptus grandis*. (en línea). Agrocienca (Uruguay). 18(1): 153 - 162. Consultado dic. 2022. Disponible en [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482014000100016&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482014000100016&lng=es&tlng=es)
3. Atanasio, M.; Pernochi, L.; Harrand, L. 2020. Severidad de daños causados por *Leptocybe invasa* y crecimiento inicial en clones híbridos de Eucaliptos. (en línea). In: Jornadas Forestales (34°, 2020, Entre Ríos). Memorias. Entre Ríos, INTA. 5 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12123/8314>
4. Balmelli, G.; Resquin, F. 2006. Productividad de diferentes especies de *Eucalyptus* sobre areniscas de Tacuarembó-Rivera. In: Bemhaja, M.; Pittaluga, O. eds. 30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó. Montevideo, INIA. pp. 305 - 312. (Serie Técnica no. 159).
5. Bing Aerial. 2022. [Mapa satelital]. (en línea). Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.bing.com/maps/aerial>

6. Bobadilha, G.; Vidaurre, G.; Câmara, A.; Valin, M.; Oliveira, J.; Soliman, E.; Lopez, Y. 2018. Effect of *Leptocybe invasa* attack in wood properties of Eucalyptus for Kraft Pulp production. (en línea). Maderas: ciencia y tecnología. 20(2): 171 - 182. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005002201>
7. Boito, G.; Giovanini, D.; Crenna, A.; Oddino, C.; Giuggia, J.; Gerardo, U. 2013. Desarrollo y validación de una escala para evaluación de daño por orugas defoliadoras en soja (*Glycine max L.*), para el sur de la provincia de Córdoba. (en línea). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias: Universidad Nacional de Cuyo. 45(1): s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652013000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652013000100008&lng=es&tlng=es)
8. Boland, D.; Brooker, M.; Chippendale, G.; Hall, N.; Hyland, B.; Johnston, R.; Kleinig, M.; McDonald, M.; Turner, J. 2006. Forest trees of Australia. (en línea). 5th ed. Collingwood, CSIRO. 735 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.publish.csiro.au/book/5138#preview>
9. Bollazzi, M. 2014. Hormigas cortadoras de hojas *Acromyrmex* spp. Montevideo (Uruguay). Montevideo, INIA, Facultad de Agronomía. 2 p. (Cartilla no. 36).
10. Bossi, J.; Navarro, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. 2 v., 996 p.
11. \_\_\_\_\_; Ferrando, L. 2001. Carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000: versión 2.0. Montevideo, Geoeditores, Facultad de Agronomía. Color.

12. Brussa, C. 1994. *Eucalyptus*: especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templados. Montevideo, Hemisferio Sur. 328 p.
13. Carvalho, M. 2016. Resposta de clones de *Eucalyptus* ao ataque da microvespada-galha *Leptocybe invasa*. Dissertação Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais. Palmas, Brasil. Universidade Federal do Tocantins. 45 p.
14. Carvalho, S. P.; Ascendino, S.; Maia, V. C.; Couri, M. S. 2016. Diversity of insect galls associated with coastal shrub vegetation in Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 88(3): 1407 - 1418.
15. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. (en línea). Montevideo, INIA. 40 p. (Serie Técnica no. 193). Consultado dic. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2538/1/18429021211104157.pdf>
16. CECOPE (Comité Ejecutivo de Coordinación en materia de Plagas y Enfermedades que afectan a las plantaciones forestales, UY). 2017. Avispa de la agalla en Eucalipto: *Leptocybe invasa* Plaga emergente en Uruguay y la región. (en línea). Montevideo. 6 p. Consultado dic. 2022. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/hoja\\_de\\_divulgacion\\_leptocybe\\_invasa\\_0.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/hoja_de_divulgacion_leptocybe_invasa_0.pdf)

17. Chilima, C.; Jenya, H.; Moyo, D. R.; Meke, G. S. 2017. Comparison of the susceptibility of six *Eucalyptus* tree species to *Leptocybe Invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) attack in a forest nursery in Zomba district. (en línea). Journal of Ecology & Natural Resources. 1(1): 3 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://medwinpublishers.com/JENR/JENR16000102.pdf>
18. Cibils, X.; Gómez, D. 2014. Gorgojo del eucalipto. Montevideo, INIA, Facultad de Agronomía. 2 p. (Cartilla no. 29).
19. Corrêa, E.; d'Avila, M.; Bisognin, E. 2014. Entomología Florestal. 3ª. ed. Santa Maria, UFSM. 256 p.
20. Dantas, J.; Aragão, J.; Lisi, C.; Silva, E.; Anchieta, R.; Ribeiro, G. 2021. Oviposition of the Gall Wasp *Leptocybe Invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) and Morphological Changes in *Eucalyptus* Spp. Genotypes Susceptible. (en línea). Floresta. 51(3): 668 - 676. Consultado dic. 2022. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v51i3.72040>
21. De Clerq, P.; Mason, P. G.; Babendreier, D. 2011. Benefits and risks of exotic biological control agents. (en línea). Biocontrol. 56(4): 681 - 698. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9372-8>
22. Di Piero, R. M. 2015. Evaluación y medición de las enfermedades de plantas. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en [http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/cursometodosfito/10-EVALUACION\\_ENFERMEDADES.pdf](http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/cursometodosfito/10-EVALUACION_ENFERMEDADES.pdf)

23. Dittrich-Schröder, M.; Wingfield, B. P.; Hurley, B. S. 2012. Diversity in Eucalyptus susceptibility to the gall-forming wasp *Leptocybe invasa*. Agricultural and Forest Entomology. 14(4): 331 - 433.
24. Doğanlar, O. 2005. Occurrence of *Lectocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004 (Hymenoptera: Chalcidoidea) on Eucalyptus camaldulensis in Turkey, with a description of the male sex. Zoology in the Middle East. 35(1): 112 - 114.
25. Doughty, R. W.; Prendergast, H. D. 2000. The Eucalyptus: a natural and commercial history of the gum tree. Baltimore, Johns Hopkins University Press. 237 p.
26. Duter, E.; Huidobro, S.; Piacenza, M. 1998. Calidad de semilla de *Eucalyptus grandis*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 84 p.
27. FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. (en línea). Roma. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/ac459s/AC459S00.htm#TOC>
28. \_\_\_\_\_. 2002. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000: informe principal. (en línea). Roma. 468 p. (Serie Montes no. 140). Consultado dic. 2022. Disponible en [https://books.google.com.uy/books?id=SokGkhcGJwwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.uy/books?id=SokGkhcGJwwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

29. \_\_\_\_\_. 2006. Manual de campo: plagas y enfermedades de eucaliptos y pinos en Uruguay. (en línea). Montevideo. 167 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/faomanualdecampo.pdf>
30. \_\_\_\_\_. 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: principales resultados. (en línea). Roma. 16 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
31. \_\_\_\_\_. 2021. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: informe principal. (en línea). Roma. 190 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4060/ca9825es>
32. Flores, T.; Alcarde Alvarez, C.; Souza, V.; Stape, J. 2018. Eucalyptus in Brazil: climatic zoning and identification guide. Piracicaba, IPEF. 447 p.
33. Friday, J. B. 2009. Eucalyptus grandis leaves and flowers. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.flickr.com/photos/jbfriday/24538402268>
34. Heit, G.; Sione, W. 2016. Modelado de la distribución espacial del riesgo de establecimiento y dispersión potencial de especies de insectos de importancia cuarentenaria en Argentina. Tesis Dr. Ciencias Aplicadas. Luján, Argentina. Universidad Nacional de Luján. 205 p.
35. Hirano, M.; Hikishima, M.; da Silva, A. J.; Xavier, S. A.; Canteri, M. G. 2010. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugemasiática em soja. (en línea). Summa Phytopathologica. 36(3): 248 - 250. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.scielo.br/j/sp/a/crkDtzZRx8RBjyxVYPPwSL/?lang=pt>

36. Huang, Z.; Li, J.; Lu, W.; Zheng, X.; Yang, Z. 2018. Parasitoids of the eucalyptus gall wasp *Leptocybe* spp.: a global review. (en línea). *Journal of Integrative Agriculture*. 18(4): 705 - 715. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311918620787>
37. IBM (International Business Machines, US). ANOVA de un factor: pruebas post hoc. (en línea). Nueva York. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=anova-one-way-post-hoc-tests>
38. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). Características climáticas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>
39. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations, SW). 2018. Managing Eucalyptus plantations under global changes. (en línea). Montpellier, CIRAD. 228 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://agritrop.cirad.fr/589039/1/ID589039.pdf>
40. Jorge, C.; Gómez, D. 2014. Taladro de los eucaliptos. (en línea). Montevideo, INIA. 2 p. (Cartilla no. 27). Consultado dic. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3818/1/Cartilla-27-Forestacion-2014.pdf>

41. Jorge, C.; Gómez, D.; Martínez-Crosa, G. 2014. La Avispa Agalladora Del Eucalipto *Leptocybe invasa*: reconocimiento, daños y posibles estrategias de manejo. (en línea). In: Jornada Técnica de Protección Forestal (6ª., 2013, Tacuarembó). Tacuarembó, INIA. 8 p. (Serie Técnica no. 213). Consultado dic. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/consulta/busca?b=ad&id=50440&biblioteca=vazio&busca=LA%20AVISPA%20AGALLADORA%20DEL%20EUCALIPTO%20Leptocybe%20invasa&qFacets=LA%20AVISPA%20AGALLADORA%20DEL%20EUCALIPTO%20Leptocybe%20invasa&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>
42. \_\_\_\_\_.; Martínez, G.; Gómez, D.; Bollazzi, M. 2016. First record of the eucalypt gall-wasp *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) from Uruguay. (en línea). Bosque (Valdivia). 37(3): 631 - 636. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000300020>
43. \_\_\_\_\_.; Molina, P. 2020. Detección temprana y síntomas de *Leptocybe invasa* Fisher y La Salle, 2004 (Hymenoptera: Eulophidae) en viveros de *Eucalyptus* (Myrtaceae). (en línea). Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay. 29(2): 132 - 140. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.26462/29.2.10>
44. Kelly, J.; Lasalle, J.; Harney, M.; Dietrich-Schröder, G.; Hurley, B. 2012. *Selitrichodes neseri* n. sp., a new parasitoid of the eucalyptus gall wasp *Leptocybe invasa* Fisher & Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae: Tetrastichinae). Zootaxa. 3333(1): 50 - 57.

45. Kim, I.; Mendel, Z.; Protasov, A.; Blumberg, D. 2008. Taxonomy, biology, and efficacy of two Australian parasitoids of the eucalyptus gall wasp, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae: Tetrastichinae). *Zootaxa*. 1910(1): 1 - 20.
46. Lawson, S.; Griffiths, M.; Nahrung, H.; Noack, A.; Wingfield, M.; Wilcken, C. 2012. Biological control of eucalypt pests overseas and in Australia: final report. (en línea). Canberra, ACIAR. 40 p. Consultado dic. 2022. Disponible en [https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/2021-08/final-report-FST-2011-028\\_0.pdf](https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/2021-08/final-report-FST-2011-028_0.pdf)
47. Leal Sáenz, A.; Pérez Santiago, G.; Álvarez Zagoya, R.; Chairez Hernández, I. 2012. Escala diagramática de defoliación ocasionada por la alimentación de *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) en frijol *Phaseolus vulgaris* L. (en línea). *Southwestern Entomologist*. 37(2): 187 - 191. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3958/059.037.0212>
48. Martínez, G. 2014a. Psílido de escudo. Montevideo, INIA. 2 p. (Cartilla no. 30).
49. \_\_\_\_\_. 2014b. Psílicos de los eucaliptos. Montevideo, INIA. 2 p. (Cartilla no. 40).
50. \_\_\_\_\_.; Jorge, C.; Escudero, P.; Martínez Haedo, J.; De los Santos, M.; Scoz, R. 2019. Hacia un programa de control biológico de la avispa agalladora del eucalipto. (en línea). *Revista INIA*. no. 56: 75 - 78. Consultado dic. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista-INIA-56.pdf>

51. Mendel, Z.; Protasov, A.; La Salle, J.; Fisher, N. 2004. Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen & sp. n (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on Eucalyptus. Australian Journal of Entomology. 43(2): 101 - 113.
52. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Blumberg, D.; Brand, D.; Branco, M. 2017. Classical biological control of two Eucalyptus gall wasps; main outcome and conclusions. Biological Control. 105: 66 - 78.
53. MGAP. DGF. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2021a. Cartografía Nacional Forestal 2021. (en línea). Montevideo. 12 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/cartografia-nacional-forestal-2021>
54. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2021b. Estadísticas forestales 2021. Montevideo. 69 p.
55. \_\_\_\_\_. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2020. Anuario estadístico agropecuario 2020. Montevideo. 269 p.
56. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2021. Anuario estadístico agropecuario 2021. Montevideo. 263 p.
57. \_\_\_\_\_. DSF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:1.000.000. Color. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/carta-reconocimiento-suelos-del-uruguay-escala-11000000>

58. \_\_\_\_\_. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2015. Anuario 2015. (en línea). Montevideo. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2015>
59. Montgomery, D. C. 2004. Diseño y análisis de experimentos. 2ª. ed. México, Limusa Wiley. 692 p.
60. Nadel, R.; Slippers B. 2011. *Leptocybe invasa*, the Blue Gum Chalcid wasp. South Africa, ICFR. 5 p.
61. Naidoo, S.; Christie, N.; Acosta, J. J.; Mphahlele, M. M.; Payn, K. G.; Myburg, A. A.; Külheim, C. 2018. Terpenes associated with resistance against the gall wasp, *Leptocybe invasa*, in *Eucalyptus grandis*. (en línea). Plant, Cell & Environment. 41(8): 1840 - 1851. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/pce.13323>
62. Nyeko, P.; Mutitu, K. E.; Otieno, B. O.; Ngae, G. N.; Day, R. K. 2010. Variations in *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) population intensity and infestation on eucalyptus germplasms in Uganda and Kenya. (en línea). International Journal Pest Management. 56(2): 137 - 144. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/09670870903248835>
63. Oates, C. N.; Külheim, C.; Myburg, A. A.; Slippers, B.; Naidoo, S. 2015. The Transcriptome and Terpene Profile of *Eucalyptus grandis* Reveals Mechanisms of Defense Against the Insect Pest, *Leptocybe invasa*. (en línea). Plant & Cell Physiology. 56(7): 1418 - 1428. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv064>

64. Petro, R.; Madofe, S. S.; Iddi, S. 2014. Infestation Density of Eucalyptus Gall Wasp, *Leptocybe invasa* Fisher and La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) on Five Commercially Grown Eucalyptus Species in Tanzania. *Journal of Sustainable Forestry*. 33(3): 276 - 297.
65. Resquin, F.; Duque-Lazo, J.; Acosta-Muñoz, C.; Rachid-Casnati, C.; Carrasco-Letelier, L.; Navarro-Cerrillo, R. M. 2020. Modelling current and future potential habitats for plantations of *Eucalyptus grandis* hill ex maiden and *E. dunnii* Maiden in Uruguay. (en línea). *Forests*. 11(9): 948. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3390/f11090948>
66. Ritter, M. 2014. Field guide to the cultivated eucalypts (Myrtaceae) and how to identify them. (en línea). *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 99(4): 642 - 687. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3417/2012039>
67. Sniezko, R. A.; Koch, J. 2017. Breeding trees resistant to insects and diseases: putting theory into application. (en línea). *Biological Invasions*. 19(11): 3377 - 3400. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1482-5>
68. Souza, A. R. 2016. Levantamento populacional e aspectos biológicos de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) e de seu parasitoide *Selitrichodes neseri* (Hymenoptera: Eulophidae). Tese Dr. São Paulo, Brasil. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agronômicas. 83 p.
69. SPF (Sociedad de Productores Forestales, UY). 2021. Uruguay Forestal: principales cifras del sector. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.spf.com.uy/uruguay-forestal/>

70. Thu, Q.; Dell, B.; Burgess, T. 2009. Susceptibility of 18 Eucalyptus species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. (en línea). *Science Asia*. 35: 113 - 117. Consultado dic. 2022. Disponible en <http://www.scienceasia.org/content/viewabstract.php?ms=2245>
71. Uranga, M. 2009. Evaluación de especies y orígenes de eucalyptus por tolerancia a las heladas en el litoral oeste de Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 76 p.
72. Uruguay XXI, UY. 2021. Sector Forestal en Uruguay. (en línea). Montevideo. 50 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/a29771e03cc49e42fe516c01b0d271dc0fcf4cbe.pdf>
73. Wilcken, C. F.; Rodrigues de Souza, A.; Masson, M. V.; Barbosa, L. R.; Junqueira, L. R. 2015. La avispa de la agalla: estado actual y métodos de control. (en línea). *In: Jornadas Forestales (29<sup>a</sup>, 2015, Concordia). Memorias*. Concordia, INTA. 6 p. Consultado dic. 2022. Disponible en [https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2015/TRABAJOS-JORNADAS-FORESTALES-2015\\_WILCKEN.pdf](https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2015/TRABAJOS-JORNADAS-FORESTALES-2015_WILCKEN.pdf)
74. Zhang, H.; Song, J.; Zhao, H.; Li, M.; Han, W. 2021. Predicting the Distribution of the Invasive Species *Leptocybe invasa*: Combining MaxEnt and Geodetector Models. (en línea). *Insects*. 12(2): 92. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3390/insects12020092>

75. Zheng X. L.; Li, J.; Yang, Z. D.; Xian, Z. H.; Wei, J. G.; Lei, C. L.; Wang, X. P.; Lu, W. 2014. A review of invasive biology, prevalence and management of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae: Tetrastichinae). (en línea). African Entomology. 22(1): 68 - 79. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4001/003.022.0133>