

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA DEL *ARBORETUM KRALL*

DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PROFESOR BERNARDO

ROSENGURTT

por

Sofía ARAMBILLETE

Josiane TROJAHN

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2024

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. MSc. Gabriela Jolochin

Tribunal:

Ing. Agr. MSc. Andrés Baietto

Ing. Agr. MSc. Luis Gallo

Fecha:

15/02/2024

Estudiantes:

Sofía Arambillete Rosa

Josiane Trojahn Correa

AGRADECIMIENTOS

A Gabriela Jolochin por acompañarnos en cada paso del camino en este viaje maravilloso por la historia del *Arboretum* y de nuestro querido Departamento Forestal. A Andrés Baietto por sus aportes indispensables.

A Juan Cabris y su forma tan cálida de transmitir el gran conocimiento que lo caracterizaba.

A nuestras familias y a nuestros amigos por el apoyo incondicional en la jornada.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 INTRODUCCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN URUGUAY.....	14
3.2 ARBORETA Y LA CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i>	24
3.3 LA INVESTIGACIÓN FORESTAL EN URUGUAY.....	33
3.4 <i>ARBORETUM</i> EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PROFESOR BERNARDO ROSENGURTT	44
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO FORESTAL Y SU EVALUACIÓN.....	47
3.5.1 El sitio forestal y las especies	47
3.5.2 Importancia de la evaluación del crecimiento en el sitio forestal	50
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
4.1 MATERIALES	57
4.1.1 Ubicación geográfica del <i>Arboretum</i>	57
4.1.2 Toma de datos.....	58
4.2 MÉTODOS.....	58
4.2.1 Medición de diámetro.....	59
4.2.2 Mediciones de altura.....	60
5. RESULTADOS	63
5.1 ANÁLISIS GENERAL DE LA ESTRUCTURA.....	63
5.2 ANÁLISIS DE ABUNDANCIA	65
5.2.1 Familias	65
5.2.2 Géneros cultivados	66

5.2.3 Especies cultivadas	69
5.3 ANÁLISIS DE RIQUEZA	72
5.3.1 Familias	72
5.3.2 Géneros cultivados	73
5.3.2.1 Géneros con mayor riqueza de especies	75
5.4 ANÁLISIS DE DIVERSIDAD DE NATIVAS.....	78
5.5 REGIÓN GEOGRÁFICA DE ORIGEN.....	80
5.6 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO	83
5.6.1 Análisis del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)	83
5.6.2 Análisis de Altura	86
5.7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL SITIO	91
5.7.1 Características del ambiente físico	91
5.7.2 Distribución de las especies en el espacio.....	94
5.7.3 Estado sanitario general	97
6. DISCUSIÓN.....	100
7. CONCLUSIONES	112
8. BIBLIOGRAFÍA.....	114
9. ANEXOS.....	124

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura No.	No.
Figura 1 Mapa de los arboreta acreditados en los cuatro niveles.....	30
Figura 2 Ubicación del Arboretum respecto a la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt (EEBR).....	57
Figura 3 Total de tallos censados en el Arboretum de la EEBR	65
Figura 4 Proporción de los individuos cultivados presentes por familia en el Arboretum de la EEBR.....	66
Figura 5 Proporción del número de individuos por género en el Arboretum de la EEBR.....	67
Figura 6 Distribución de los géneros exóticos en el Arboretum de la EEBR.....	67
Figura 7 Abundancia de individuos por género y familia en el Arboretum de la EEBR.....	68
Figura 8 Proporción de individuos por especie cultivada en el Arboretum de la EEBR.....	69
Figura 9 Ubicación de las especies cultivadas presentes en el Arboretum de la EEBR.....	70
Figura 10 Riqueza de especies cultivadas por familia botánica en el Arboretum de la EEBR.....	73
Figura 11 Riqueza de especies cultivadas por géneros en el Arboretum de la EEBR	74
Figura 12 Riqueza de géneros y especies cultivadas por familia botánica en el Arboretum de la EEBR.....	75
Figura 13 Géneros con mayor riqueza de especies y géneros con una sola especie representada en el Arboretum de la EEBR	76
Figura 14 Distribución de las especies con bajo número de individuos en el Arboretum de la EEBR.....	78
Figura 15 Distribución de las especies nativas presentes en el Arboretum de la EEBR.....	80
Figura 16 Abundancia y Riqueza según región de origen en el Arboretum de la EEBR.....	81
Figura 17 Proporción de abundancia y riqueza según región geográfica de origen presente en el Arboretum	82
Figura 18 <i>Proporción de clases diamétricas en cm, según géneros con mayor riqueza de especies</i>	85
Figura 19 Mínimo, máximo y promedio de DAP (cm) según género presente en el Arboretum de la EEBR.....	86
Figura 20 Ajuste de modelos que vinculan DAP y Ht, para las especies a las que se les midió la altura.....	88
Figura 21 Proporción de clases de altura según las especies a las que se midieron la altura.....	90
Figura 22 Proporción de clases diamétricas las especies a las que se midieron la altura	91

Figura 23 Mapa de las unidades de suelo presentes en el Arboretum de la EEBR92	
Figura 24 Mapa con los grupos de suelos CONEAT presentes en el Arboretum de la EEBR.....	93
Figura 25 Distribución de Eucalyptus y Corymbia en el Arboretum de la EEBR....	95
Figura 26 Especies más próximas al tajamar en el Arboretum de la EEBR.....	97
Figura 27 Ubicación de la especie Gleditsia triacanthos en el Arboretum de la EEBR.....	98

Tabla No.	No.
Tabla 1 Número de individuos y tallos de los árboles nativos presentes según familia, género y especie	79
Tabla 2 Modelos hipsométricos y R2 para las especies a las que se les midió la altura	87
Tabla 3 Resultados de pruebas estadísticas para las especies a las que se les midió la altura	89

RESUMEN

La IABG considera a los *arboreta* como lugares abiertos al público donde las plantas están etiquetadas y destaca aquellos que las universidades mantienen para la enseñanza y la investigación. En 1956 el Ing. Agr. José Krall inició lo que se denominaría “el *Arboretum*” en la EEBR con la introducción de especies forestales para el inicio de los primeros programas de mejoramiento genético forestal en el país, así como áreas para la formación de los estudiantes de esa época. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar la composición botánica, la diversidad y el comportamiento de las especies que componen el *Arboretum* en la actualidad, mediante la realización de un censo georreferenciado. Se analizaron la riqueza y la abundancia para diferentes niveles taxonómicos, el régimen silvícola y la distribución geográfica natural. Además, se calcularon variables de crecimiento diamétricas y se realizó un muestreo para la medición de altura total de algunas especies para obtener modelos hipsométricos. Entre los años 2021 y 2022 se registraron 51 especies distribuidas en 23 géneros, así como también siete especies nativas no cultivadas. Los DAP y H_t utilizando modelos hipsométricos, mostraron similitud con la bibliografía consultada. Las especies más abundantes provienen de regiones geográficas con condiciones climáticas similares a nuestro país, principalmente de Oceanía, Norteamérica y Sudamérica. Actualmente el *Arboretum* representa parte de la historia forestal del Uruguay, aunque sin un programa de seguimiento del potencial de sus materiales, sigue siendo utilizado con fines educativos para numerosas generaciones de estudiantes forestales de la Facultad de Agronomía. En este trabajo se intenta dar a conocer el valor del *Arboretum*, tanto en un sentido botánico, como educativo, histórico, ambiental, social y económico.

Palabras Clave: *Arboretum*, *arboreta*, EEBR, José Krall

SUMMARY

The IABG considers *arboreta* as places open to the public where plants are labeled and highlights those that universities maintain for teaching and research. In 1956 the Agr. Engineer. José Krall began what would be called “the *Arboretum*” at the EEER with the introduction of forest species for the beginning of the first forest genetic improvement programs in the country, as well as areas for the training of students of that time. The objective of this work was to analyze the botanical composition, diversity and behavior of the species that make up the *Arboretum* today, by carrying out a georeferenced census. Richness and abundance were analyzed for different taxonomic levels, the silvicultural regime and the natural geographical distribution. In addition, diameter growth variables were calculated and sampling was carried out to measure the total height of some species to obtain hypsometric models. Between 2021 and 2022, 51 species distributed in 23 genders were recorded, as well as seven non-cultivated native species. The DAP and H_t using hypsometric models showed similarity with the consulted literature. The most abundant species come from geographical regions with climatic conditions similar to our country, mainly from Oceania, North America and South America. Currently, the *Arboretum* represents part of the forestry history of Uruguay, although without a program to monitor the potential of its materials, it continues to be used for educational purposes for numerous generations of forestry students from the Faculty of Agronomy. This work attempts to make known the value of the *Arboretum*, both in a botanical, educational, historical, environmental, social and economic sense.

Keywords: Arboretum, arboreta, EEER, José Krall

1. INTRODUCCIÓN

Aunque existen muchas definiciones formales de *Arboretum*, no existe un organismo certificador, pero se podrían ajustar a una amplia descripción como colecciones vivas documentadas de especies leñosas cultivadas para investigación, educación y exhibición (Cheek & Proches, 2022). El botánico escocés John Claudius Loudon utilizó por primera vez en 1838 el término *Arboretum*, ya que en latín significa “lugar plantado con árboles” (Arboretum de Galicia, s.f.).

Según el Botanical Garden Conservation International (BGCI), existen cerca de 2.500 jardines botánicos y *arboreta* distribuidos en todo el mundo, los que mantienen más de 4 millones de accesiones de plantas vivas, representando aproximadamente un tercio de todas las especies conocidas en el mundo (BGCI, 2021, como se cita en Trinidad, 2021).

Gran parte de la bibliografía cita a los *arboreta* como sinónimos de jardines botánicos, por ejemplo, la definición dada por la Asociación Internacional de Jardines Botánicos (IABG) que considera a un jardín botánico y *Arboretum* como uno que es abierto al público y en el que las plantas están etiquetadas, pero aclara que existen diferentes tipos entre los que se encuentran los jardines universitarios, que muchas universidades mantienen para la enseñanza y la investigación (Wyse Jackson & Sutherland, 2000). También se podría definir un *Arboretum* como un espacio natural protegido en el que se desarrollan colecciones de árboles y plantas vasculares con fines paisajísticos y pedagógicos (Arboretum de Galicia, s.f.).

El carácter pedagógico que se le atribuye a los *arboreta* constituye un elemento fundamental al momento de diferenciarlos de otras formaciones vegetales, pero una de las principales características que los distingue de otros tipos de

colecciones vivas es la señalización y etiquetado de los individuos, condiciones necesarias para considerar a este tipo de colecciones bajo esta denominación (Cheek & Proches, 2022).

Además, los *arboreta* son considerados instrumentos para salvaguardar los recursos forestales, como centros de conservación *ex situ* o *in situ*, ya que desempeñan una función muy importante en programas de educación ambiental, investigación y entrenamiento en el conocimiento botánico a diversos niveles (Esparza-Olguín et al., 2020).

En 1956 en la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt (Bañado de Medina, Cerro Largo) perteneciente a la Facultad de Agronomía, el Ing. Agr. José Krall inició lo que se denominaría posteriormente “el *arboretum*”, con la introducción de especies de distintas partes del mundo. La multiplicación de especies como cedros, cipreses, secuoyas, abetos, así como varias especies de pinos, provenientes de la región oeste de Norteamérica y eucaliptos australianos, constituyeron la base de esa primera introducción (Olivero, 2018).

Con la instalación del *Arboretum* se pretendía observar el comportamiento de las diferentes especies y de sus procedencias, en un área representativa de las condiciones ambientales de nuestro país. Según relatos, varias de las especies o sus individuos no lograron sobrevivir a la etapa de vivero, otras lograron establecerse por un corto período en el campo, pero sin ser exitosas en su desarrollo (J. Cabris, comunicación personal, 2022). Muchas otras especies y sus individuos pasaron todas las etapas de establecimiento y sobrevivieron, varias de ellas formando parte del *Arboretum* que hoy en día sigue siendo utilizado como parte de la enseñanza para los

estudiantes de sistemas de producción forestal de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía (Olivero, 2018).

El *Arboretum* instalado en la EEBR tuvo inicialmente el objetivo de comenzar con la instalación de ensayos para la selección de materiales destinados a programas de mejoramiento genético forestal, así como también generar áreas de prácticas para la educación en los cursos de silvicultura dictados en esa época (Olivero, 2018).

A partir de esta fase inicial se realizaron una serie de ensayos de especies y procedencias, pruebas de progenies y huertos semilleros, los cuales fueron llevados adelante a partir de los materiales observados con mejor comportamiento en el *Arboretum*, y en los sucesivos ensayos que se llevaron adelante desde 1957 en la EEBR.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo tiene como objetivo general el análisis y caracterización botánica del *Arboretum* Krall de la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt (EEBR) ubicada en Bañado de Medina, Cerro Largo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la diversidad por medio de la riqueza y abundancia de las diferentes categorías botánicas presentes en el *Arboretum* de la EEBR.

Caracterizar la composición estructural específica de los rodales existentes, generando una base de datos.

Conocer y recuperar la historia de vida de las especies y resaltar su importancia a través del estudio del crecimiento mediante el análisis del DAP y la H_t .

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 INTRODUCCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN URUGUAY

El primer indicio forestal documentado por De María (1957) indica que la introducción de especies arbóreas fue llevada a cabo durante la fundación de Montevideo en 1723 por uno de los primeros pobladores, Jorge Burgues, quien “cultivó un pedazo de tierra y plantó algunos árboles” (p. 7). También se hace referencia a la utilización de recursos forestales para la construcción de las primeras casas de San Felipe y Santiago, provenientes de los montes de Santa Lucía (De María, 1957).

En 1810 Francisco Aguilar (español), arribó a Uruguay estableciéndose en Maldonado y posteriormente en Montevideo. Aguilar plantó viñedos e introdujo algunas especies de pinos al departamento de Maldonado (Porcile, 2007).

Entre los años 1819 y 1822 Dámaso Antonio Larrañaga, clérigo y naturalista de vocación, cultivó su quinta contribuyendo a enriquecer la arboricultura del país con una colección de árboles provenientes del hemisferio norte, incluyendo varias especies forestales (acacia, álamo, abedul, almez, pino Brasil, ciprés, paraíso, roble, sauce llorón, sófora, triacanto), especies frutales (almendro, bergamota, cereza, ciruelo, damasco, duraznero, granado, guindo, higuera, limón, manzano, membrillo, peral) y muchas otras multipropósito (laurel, mimosa, morera china nogal, olivo, palma). En el año 1837 se registran individuos de robles, castaños de la India y abedules en las inmediaciones del Miguelete (De María, 1957).

Hacia el año 1850 un buque de guerra en viaje de Australia a Inglaterra arribó al puerto de Montevideo con un cargamento de vigas de eucaliptos, las que fueron desembarcadas y utilizadas en la construcción de la Aduana de la época. Las

dimensiones y características de esas maderas llamaron la atención de un inmigrante inglés llamado Tomas Tomkinson, quien poseía una chacra de 10 hectáreas (ha) en la zona de Paso de la Arena en Montevideo, donde plantaba árboles de distintas especies y distintos orígenes (Porcile, 2007). En ese entonces decide solicitar semillas de esos árboles al capitán del buque australiano, aunque nunca llegaron a Uruguay por lo que, Tomkinson le encomienda a Jorge Hodgskin la obtención de un lote de semillas de eucalipto (De María, 1957).

Según algunas versiones, Hodgskin llevaba el mismo pedido de Pedro Margat, Luis Faucon y Doroteo García, otros entusiastas de la introducción de especies en esas épocas (Porcile, 2007). Hodgskin no consiguió las semillas de origen australiano, sino de una procedencia cultivada en el Cabo de Buena Esperanza en Sudáfrica. De estas semillas se obtuvieron las primeras plántulas en almácigos en el año 1835 para luego iniciarse las primeras plantaciones en el establecimiento “La Selva” en el Paso de la Arena (de Tomkinson), en el vivero de la calle Burgues (de Margat), en la quinta de Gabriel Pereira (de Faucon) y tres años más tarde en la zona de Toledo (de Doroteo García) (Aguirre, 1959). Según Aguirre (1959) en los relatos del propio Tomkinson se indicaba que el capataz de “La Selva” habría vendido parte de la colección de eucaliptos en envases al jardinero de José de Buschental, por lo que también es considerado como parte de los primeros cultivadores de eucaliptos en el país.

Hacia la segunda mitad del siglo XIX comienza la plantación masiva de eucaliptos con plantas producidas por los escasos viveros de esa época, como los de Margat, Vidiella y Domingo Basso, que al final de ese siglo ya ofrecían numerosas especies de este grupo de plantas (Brussa, 1994). Entre los primeros cultivadores de eucaliptos se podrían destacar a Juan Perfecto Giot y Cornelio Guerra, quienes

plantaron varias especies en Villa Colón a partir de plantas del establecimiento de Pedro Margat, posteriormente continuada por Ambrosio Lezica, Anacarsis Lanus y Enrique Fynn. Bajo la dirección del paisajista francés Auguste François Lasseaux y Francisco Vidiella, al mismo tiempo se establecieron plantaciones en el establecimiento de Francisco Lecoq a orillas del río Santa Lucía y también Buschental en su quinta “Del Buen Retiro” (De María, 1957). Poco tiempo después se encuentran registros de nuevas plantaciones en varios departamentos del país como las de Juan de Cominges (Montevideo), Manuel Tapia (Canelones), Errasquín (Florida), Drabble y Juan D. Jackson (Soriano), Carlos Reyles y Carlos Hall (Durazno) y German Roosen (Flores), comenzando la expansión del cultivo en todo el territorio nacional (Porcile, 2007).

Las primeras especies de eucaliptos introducidas en Uruguay se deducen de la existencia de ejemplares de árboles centenarios en diferentes áreas públicas y privadas asociadas a los primeros cultivadores (Brussa, 1994). A pesar de que no haya un listado de las especies, se citan como las primeras introducidas, incluyendo las que hasta hoy en día pueden encontrarse en el Prado de Montevideo en la que fuera la Quinta de Buschental, en el Parque Tomkinson (ex establecimiento “La Selva”): *Eucalyptus globulus* subsp. *globulus* Labill., *Eucalyptus globulus* subsp. *pseudoglobulus* J. B. Kirkp., *Eucalyptus elata* Dehnh., *Eucalyptus andreana* Naudin, *Eucalyptus melanophloia* F. Muell, *Eucalyptus diversifolia* Woolls, *Eucalyptus tereticornis* var. *glaucina* (Blakely) Cameron, *Eucalyptus tereticornis* Sm., incluyendo también *Eucalyptus sideroxylon* A. Cunn. ex Woolls, *Eucalyptus tricarpa* (L. A. S. Johnson) L. A. S. Johnson & K. D. Hill, *Eucalyptus paniculata* Sm., *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson y *Angophora costata* Britten. (Brussa, 1994; Porcile, 2007), así como algunas especies registradas en herbario por Atilio

Lombardo, como *Eucalyptus viminalis* Hook, *Eucalyptus cornuta* Labill. y *Eucalyptus ovata* Labill. (Brussa, 1994).

A fines del siglo XIX habían aumentado las llamadas “quintas” o “islas” en todo el país debido a las utilidades atribuidas a los eucaliptos, por lo que varios horticultores contribuyeron a difundir estas especies al cultivarlos en sus viveros y así luego distribuirlos. Es así que los eucaliptos fueron una parte importante de las actividades agropecuarias debido a su diversidad específica, su plasticidad y capacidad de adaptación al medio, su rapidez de crecimiento y rusticidad. Al mismo tiempo también fue incrementando el valor de estas especies como fuente de madera para combustible, aserrío y carpintería rural. En la última década del siglo XIX se inician una serie de plantaciones de gran extensión de una gran diversidad de plantas, entre ellas eucaliptos y pinos (Brussa, 1994).

Pierre Durandean y Antonio Lussich fueron los principales impulsores de la introducción de especies leñosas de la época, y sus proyectos de plantaciones extensivas reunieron una de las más importantes colecciones vivas de plantas exóticas, siendo para fines del siglo XIX la mayor a nivel mundial de especies de eucaliptos (Brussa, 1994). Durandean lo hizo en “Villa Agustina”, lo que actualmente corresponde al Parque Fructuoso Rivera en Montevideo, y Lussich fue un empresario que adquirió un predio en la Sierra de Punta Ballena y comenzó sus plantaciones inicialmente para la fijación de arenales mediante pinos marítimos, lo que luego se consolidó como un bosque con la incorporación de otras especies, parte de lo que hoy es conocido como “Bosque de Punta Ballena”, “Bosque Lussich” y “*Arboretum* Lussich”, ubicado en Maldonado (Brussa, 1994).

Debido al interés de Durandeu y Lussich, junto al auge en el cultivo de los eucaliptos, también se introducen varias especies de pinos. Entre los años 1874 y 1877 en la chacra “La Loma” en el departamento de Maldonado, dos inmigrantes italianos llamados José Rosso y José Allegrini realizaron las primeras plantaciones a escala importante de pino marítimo (*Pinus pinaster* Aiton). Luego, entre 1880 y 1911, Enrique Burnett, quien fuera vicecónsul y representante del Lloyd de Londres, realizó diversas plantaciones de pino marítimo con el mismo objetivo inicial de Lussich, detener las dunas móviles de las arenas costeras del este del país, transformándolo en un nuevo paisaje (Porcile, 2007).

En los inicios del siglo XX, casi al mismo tiempo que Burnett realiza las plantaciones de pinos en el este del país, Aaron de Anchorena adquiere campos en zonas costeras del oeste, en el departamento de Colonia a orillas del río San Juan, hoy en día legado al Estado uruguayo como Estancia Presidencial. Hasta el día de hoy existe una gran colección de eucaliptos cultivados de esa época, además de incluir en su biblioteca personal una amplia variedad de bibliografía especializada sobre los eucaliptos, siendo uno de los primeros investigadores interesados en la diversidad de este grupo de plantas australianas (Brussa, 1994).

En 1902 se fundó el parque del Museo y Jardín Botánico de Montevideo, único en el país registrado como tal, cuyo cometido inicial fue dar prioridad a la flora nativa y aclimatar especies exóticas (IM, 2016, como se cita en Trinidad, 2021). Luego de la dirección honoraria de José Arechavaleta y Cornelio Cantera (entre los años 1924 y 1940), el Jardín Botánico estuvo a cargo del Dr. Guillermo Herter, quien incluyó el desarrollo de actividades de investigación científica de la botánica nacional. Luego, la dirección estuvo a cargo del profesor Atilio Lombardo, de quien el museo y jardín reciben su nombre, uno de los primeros botánicos uruguayos en identificar las

especies cultivadas de varios grupos, incluidos los eucaliptos y los pinos, los cuales se pueden encontrar en las publicaciones de Atilio Lombardo (Lombardo, 1954) y que aún cuentan con ejemplares vivos en el jardín (IM, 2016, como se cita en Trinidad, 2021).

En forma casi paralela a la creación del Jardín Botánico de Montevideo, en 1908, fue diseñado y proyectado el jardín botánico de la Facultad de Agronomía bajo la dirección del Dr. Gustavo Gassner (catedrático de botánica y patología vegetal) y el Ingeniero Horticultor Petzke. Unos años más adelante, la cátedra de Botánica de la Facultad de Agronomía recibió una financiación para un proyecto “Investigación de nuevos cultivos de Uruguay y adyacentes Argentina, Brasil y Paraguay de uso potencial en la agricultura de Estados Unidos” (conocida como Ley 480 de Excedentes Agrícolas). Este proyecto que permitió el estudio de gramíneas nativas y además otras familias, colecta de material vivo, colecta de semillas, siembra y colección en cultivo posterior en canteros etiquetados en una gran parte del predio de la Facultad de Agronomía en Sayago, que le fue concedida como campo de experimentación (al llamado Jardín Botánico de la Facultad de Agronomía) (Aramburu et al., 2019).

El jardín de la Facultad de Agronomía fue luego asociado a la Asociación Internacional de Jardines Botánicos (IABG, por sus siglas en inglés), el primero de los Jardines Botánicos del Uruguay en hacerlo, y para ese entonces se elaboraba anualmente un *Index Seminum* o sea una lista de semillas disponibles para intercambio con otros Jardines Botánicos del mundo, tarea que era supervisada por el equipo del profesor Bernardo Rosengurt (Izaguirre, 2012). En este mismo jardín ya existían colecciones importantes de eucaliptos, cuyos individuos pueden encontrarse hoy en día en el Parque de la Facultad (Jolochin & Speroni, 2007).

También en 1908 se realiza la plantación de 4.000 pinos y 1.500 tamarix en la Isla de Gorriti de Maldonado (bajo la intendencia de Juan B. Gorlero y en colaboración con Agustín Dó), poco antes de que Francisco Piria comenzara en 1910 con las plantaciones de pinos en los médanos de la costa en el oeste de Maldonado. Luego en 1911, Laureliano Alonzo Pérez realizó una plantación de casi 720 ha de árboles de diferentes especies. En el mismo año, cerca del puerto de Conchillas (en la estancia “Los Cerros de San Juan”, departamento de Colonia) donde se plantaron 50.000 pinos marítimos con fines de leña y resinación. El género *Pinus* continuó aumentando su importancia durante el siglo XX debido que es una especie maderable y que además era usada como protección de las inclemencias del ambiente, siendo utilizadas en esa época en regiones más continentales del país, a diferencia de los eucaliptos (Porcile, 2007). Luego otras colecciones importantes de árboles se establecieron a partir de 1911, por ejemplo, en Toledo, en el vivero “Dr. Alejandro Gallinal”, en un parque en los arenales de Carrasco, en el parque Santa Teresa en Rocha y en el parque de vacaciones de UTE ubicado en Lavalleja (Porcile, 2007).

En la década de 1920, Jaureguiberry (creador de un parque de 1.000 ha de extensión en la Costa de Oro, por el cual un balneario recibe su nombre en Canelones, y del “Parque Balneario Solís” en Maldonado) realizó plantaciones extensas de eucaliptos colorados (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. tereticornis*) en Canelones, seleccionando del grupo de especies, los individuos más rústicos y vigorosos con capacidad de adaptarse a las condiciones más extremas de clima y suelo (Porcile, 2007).

Según Porcile (2007), el carácter robusto y diversidad de los pinos y eucaliptos, contribuyeron a que muchas de sus especies se adaptaran exitosamente en distintos ambientes del país (por comportamientos en desarrollo, vigor y sanidad,

adecuación al sitio). Así este conjunto de especies se convirtió en uno de los más cultivados para la primera mitad del siglo XX en Uruguay.

En 1953, en la revista de Silvicultura de la Escuela de Silvicultura de Maldonado, se realiza una publicación denominada "Panorama forestal del Uruguay", en la cual se presenta una visión global de la situación forestal del país, especificando un área nacional con cobertura forestal de 2,21 %, considerado uno de los menores valores del mundo para la época. En dicha publicación se recomienda que la selección de especies a introducir debe realizarse con énfasis en protección y rendimiento, basándose en la adaptación biológica. Además, se recomienda realizar ensayos e investigaciones en cuanto a cómo crecen los montes en los diferentes sitios del país, con especial énfasis en las condiciones ecológicas de las distintas especies arbóreas para la producción de madera y el uso industrial (Hutton & Winkelmann, 1953).

El inicio de las plantaciones forestales en el país se asocia con el género *Eucalyptus* introducido desde Australia, en dicha época de las aproximadamente 67.000 ha de bosques plantados artificialmente, más de 50.000 ha, aproximadamente el 75 %, eran plantaciones del género *Eucalyptus*, más precisamente plantaciones puras de la especie *Eucalyptus globulus* (Hutton & Winkelmann, 1953).

Se destaca la importancia de la investigación forestal para conocer el comportamiento de las especies más relevantes en diversos sitios del país. Además, se recomienda realizar registros detallados en cuanto a los regímenes silvícolas fustales o talleres, reacciones de las especies al viento, a los insectos y su comportamiento frente al déficit hídrico (Hutton & Winkelmann, 1953).

Muchas de estas plantaciones donde se introdujeron varias especies leñosas iniciaron como ensayos incipientes de adaptación a nuestras condiciones. Esto fue lo que sucedió particularmente en la Estación Experimental de Bañado de Medina, una de las estaciones experimentales de la Facultad de Agronomía, ubicada en Cerro Largo (actualmente, Estación Experimental Profesor Bernardo Rossengurt, EEBR). A partir de 1955 el Ingeniero Agrónomo José Krall, de origen húngaro y egresado como Agrónomo en Uruguay, comienza sus trabajos de investigación en temáticas forestales iniciando su carrera como docente de la que sería posteriormente la Facultad de Agronomía (Olivero, 2018).

En 1956 Krall inicia su trabajo de investigación en la actual EEBR, en un ensayo inicial denominado *Arboretum*, donde se realiza la introducción de especies de varias zonas del mundo, y testea desde la etapa de vivero la producción de plantas de varias especies como cedros, cipreses, secuoyas, abetos, así como varias especies de pinos y eucaliptos, el cual queda implantado hacia 1957. A partir de esta instalación y durante los siguientes años, profundiza en varios estudios sobre la silvicultura y el desarrollo forestal nacional, mediante sus investigaciones sobre las especies, su manejo y silvicultura (Olivero, 2018).

En esa misma época en la Escuela de Silvicultura de Maldonado seguían avanzando en las investigaciones sobre *Pinus*, por lo que en 1960 se instaló un ensayo de donde se evaluaron trece especies de pinos, siendo dos de ellas utilizadas como especies testigo debido a su adaptación a las condiciones de Uruguay (*Pinus pinaster*) y a su rápido crecimiento (*Pinus radiata* D. Don), características que habían sido observadas para las primeras plantaciones. Se realizaron estudios del suelo y del clima local, así como una caracterización de las especies plantadas. El resultado del ensayo demostró la adaptabilidad de las especies en relación a *Pinus pinaster*,

siendo los de mejores condiciones: *P. radiata*, *Pinus muricata* Bol., *Pinus taeda* Blanco, *Pinus patula* Schltl. & Cham., *Pinus thunbergii* Parl., *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. y *Pinus attenuata* Lemmon (Morón & Padula, 1964).

Para el año 1962 el *Arboretum* ya ocupaba unas 10 ha, y se reporta para ese entonces la existencia de unas 75 especies de 25 géneros de plantas leñosas cultivadas, con muchas especies y géneros comúnmente cultivados desde finales de 1800. Para ese momento Krall se había propuesto, al realizar este *Arboretum*, no sólo como parte de las observaciones sobre las especies para la selección de materiales para sus ensayos, sino con el objetivo de mejorar la enseñanza en los cursos asociados a la silvicultura, tanto para la carrera de técnico rural que se realizaba en esa época en la Estación Experimental de Bañado de Medina en Cerro Largo (actualmente EEER), sino como oportunidades para la formación de estudiantes de otras carreras ofrecidas en el país (Olivero, 2018).

Desde la instalación del *Arboretum* y hasta el año 1985, el Prof. Krall formó parte importante y fundamental de los grupos docentes que formaron a varias generaciones de ingenieros agrónomos forestales, además de realizar diversas investigaciones acerca del comportamiento de las principales especies y diferentes materiales genéticos utilizados para la producción forestal, iniciando los primeros ensayos de introducción de especies y procedencias, con un objetivo claro en desarrollar programas de mejoramiento genético en Uruguay (“Un recuerdo para el ingeniero Krall”, 2014).

A partir de la instalación del *Arboretum* en la EEER, se realizaron varios ensayos de evaluación de especies, especies y procedencias, así como ensayos de distintas etapas de líneas de mejoramiento genético para varias especies de

eucaliptos y pinos, inclusive la instalación de huertos semilleros. Varios de estos ensayos existen hasta hoy en día distribuidos en varios potreros en toda la estación experimental, así como instalaciones de evaluación en campos vecinos a la EEBR L. Gallo (comunicación personal, 2022).

3.2 ARBORETA Y LA CONSERVACIÓN *EX SITU*

El término *Arboretum* fue utilizado por primera vez por el botánico escocés John Claudius Loudon, en su libro enciclopédico *Arboretum et Fruticetum Britannicum*, que en latín quiere decir “lugar plantado con árboles”, pero su significado va más allá de este concepto, y se puede definir hoy como un parque dedicado al cultivo experimental, no lucrativo, de árboles y arbustos con el objetivo de estudiarlos y servir como instrumento didáctico (*Arboretum* de Galicia, s.f.).

Las definiciones de arboreto varían desde, colecciones de plantas (Downing & Roberts, 1991), jardín botánico de árboles (Sykes, 1976 como se cita en Cheek & Proches, 2022), colección completa de especies, variedades y formas arbóreas, tanto de especies exóticas como autóctonas, que pueden cultivarse en una localidad (Chipp, 1925 como se cita en Cheek & Proches, 2022), hasta instituciones botánicas que poseen colecciones documentadas de plantas vivas con fines de investigación científica, conservación, exhibición y educación (Wyse, 1999 como se cita en Cheek & Proches, 2022). Algunas definiciones consideran a la señalización y etiquetado como condiciones necesarias para considerar a este tipo de colecciones vivas como *arboreta* (Cheek & Proches, 2022).

Sin embargo, el rol educativo constituye un elemento fundamental al momento de diferenciarlos de otras formaciones vegetales, incluso, muchas instituciones educativas de nivel superior se han dado cuenta del valor de los *arboreta*

y jardines botánicos al incluirlos de manera práctica con su plan de estudios. Se ha observado que fomentan la interacción entre el estudiante y el docente brindando oportunidades para estudiar grupos de plantas diversas en un sólo lugar. La experiencia del estudiante puede ser múltiple y, en prácticamente todos los casos, la relación es beneficiosa para ambas partes (Lyons, 1999). Por otro lado, el tamaño adecuado para un arboreto está determinado principalmente de acuerdo a su objetivo, ya sea forestal o dendrológico, siendo este último, de acuerdo a la botánica de origen holandés L. H. Baas-Becking, de un tamaño mínimo de 50 ha con el fin de realizar investigaciones más allá de las estrictamente silviculturales (Cheek & Proches, 2022).

Los jardines botánicos y *arboreta* propagan y cultivan un tercio de las especies de plantas superiores (espermatofitas) conocidas a nivel mundial, contribuyendo así con el desafío de restaurar áreas naturales para proteger la biodiversidad y/o reparar los servicios ecosistémicos, funcionando como centros indispensables para la ciencia y la práctica de la restauración ecológica, lo que está directamente relacionado con su misión (Miller et al., 2016).

Las colecciones de plantas vivas son un recurso importante para la investigación, por lo que tienen el potencial de proporcionar a la comunidad científica no sólo material vegetal, sino también conocimientos acerca de cómo cultivar estas especies con éxito (Hudson et al., 2021). Muchas de estas instituciones tienen programas de investigación establecidos donde documentan la diversidad, así como programas de ecología, conservación y restauración de plantas. Trabajan para crear redes, educar, desarrollar políticas y capacidades como material de origen para la restauración, la cual requiere el acceso a semillas. Los bancos de semillas pueden proporcionar material de las especies necesarias para restaurar la estructura básica de un ecosistema. Muchos jardines botánicos y *arboreta* mantienen los recursos

fitogenéticos como bancos de semillas y cuentan con especialistas en genética de la conservación, para asegurar que las accesiones tengan la constitución genética adecuada para sobrevivir localmente (Miller et al., 2016).

Los recursos fitogenéticos comprenden la diversidad genética útil para el ser humano, los cuales son imprescindibles para el mejoramiento de especies domesticadas y la domesticación de nuevas especies (Salgotra & Chauhan, 2023). Estos son de gran importancia en los programas de conservación y utilización sustentable de la biodiversidad (Berretta et al., 2007).

Las etapas clásicas de la valorización de recursos fitogenéticos para el uso en programas de mejoramiento son: colecta o introducción, conservación, caracterización, evaluación y documentación. En términos generales, se trata de obtener muestras representativas de la diversidad genética existente en un determinado lugar. Se distinguen dos tipos de conservación de los recursos fitogenéticos: conservación *in situ* (que se realiza en el área donde se ha generado la diversidad genética) y la conservación *ex situ*, definida por el CDB (Convenio de Diversidad Biológica) como la conservación de la diversidad biológica fuera de su hábitat natural (Oldfield, 2009). Este último es el componente de la conservación de especies que generalmente se asocia con los jardines botánicos y *arboreta*, ya que permite que las especies puedan cumplir sus funciones biológicas, como la variedad de productos derivados de los árboles (madera, medicinas, alimentos, forraje y cercos vivos, la presencia de especies melíferas que favorecen la polinización y la de aquellas con un alto valor cultural y religioso). Además, constituyen reservorios y fuentes potenciales de germoplasma para la conservación de las especies (Esparza-Olguín et al., 2020).

La documentación cuidadosa del origen del material es esencial en la conservación *ex situ* de plantas enteras en colecciones vivas de *arboreta* y jardines botánicos. Generalmente se aceptan muestras de 50 poblaciones por especie, con 50 individuos por población, para establecer una cierta representatividad genética en la colección, pero en la realidad relativamente pocos árboles en colecciones vivas se basan en material recolectado con dicho rigor científico, dado que el propósito original de las colecciones podría no haber sido para este fin (Oldfield, 2009).

Según Maxted et al. (1997), como se cita en Lobo y Medina (2009), la necesidad de conservar para evitar pérdidas de materiales genéticos y tener esa variabilidad disponible, ha derivado en la creación de bancos de germoplasma (bancos de genes o colecciones *ex situ*). En dichos bancos se debe mantener la diversidad de especies desarrollada por los agricultores (variedades locales) y muestras de cultivares comerciales desarrollados por mejoradores. Otro componente de estas colecciones son las llamadas variedades obsoletas, es decir, cultivares antiguos con posibles combinaciones importantes de cualidades genéticas. Cabe destacar que, sin la comodidad de los bancos genéticos, los investigadores deberían programar una búsqueda continua de muestras para sus programas de mejoramiento (Maxted et al., 1997, como se cita en Lobo & Medina, 2009).

Por otro lado, cuando los ecosistemas están muy degradados, las colecciones históricas de herbarios pueden ser el único recurso disponible para determinar qué especies pudieron haber existido en el ecosistema afectado, o perdido. Por lo tanto, consultar colecciones históricas puede ser un paso esencial para la reconstrucción de las especies de bosques que ya no están (Miller et al., 2016).

Aunque las colecciones de jardines botánicos y *arboreta* sean reconocidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como importantes repositorios de conservación *ex situ*, según el plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos en la agricultura y alimentación, dichas colecciones siguen siendo en gran medida subutilizadas y desconocidas por las comunidades cultivadoras y la silvicultura (Hudson et al., 2021). Esto se debe a que, a pesar de algunas excepciones, la comunidad de jardines botánicos no comparte los datos de sus colecciones, muchas veces porque no cuentan con portales de datos que le permitan mostrar información de sus accesiones. En muchos casos este tipo de instituciones sólo comparte los nombres en la base de datos mundial de colecciones de plantas vivas, semillas y tejidos, del BGCI (*Botanic Gardens Conservation International*) denominada *Plant Search*, aunque algunas instituciones incluso pueden no haber digitalizado aún sus datos. La información específica de la accesión, como el número de colección, la fecha de recolección o el origen, no se registra en *Plant Search*, aunque en la actualidad el BGCI está desarrollando un módulo que permitirá el intercambio de material vegetal entre instituciones (Hudson et al., 2021).

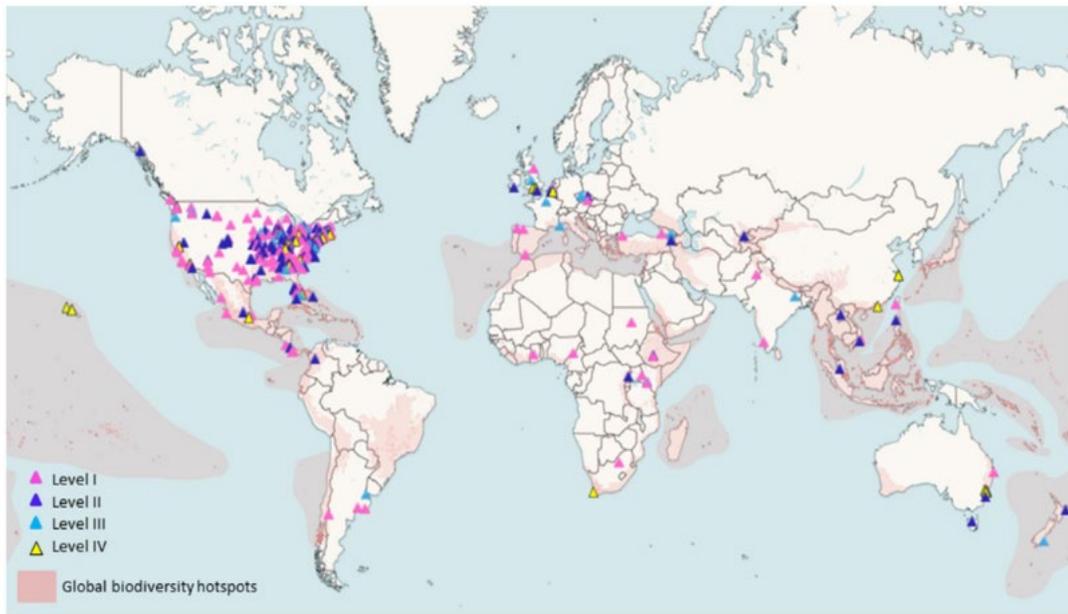
Es por este motivo que el *Arboretum* Morton en Chicago, EEUU, decidió que las personas necesitaban un mayor acceso a los jardines centrados en los árboles, y estos jardines necesitaban apoyo profesional y creación de redes para fomentar la plantación y conservación de árboles para ayudar a revertir la pérdida de dosel en todo el mundo. En 2011 el *Arboretum* Morton, la BGCI y la APGA (*American Public Association*), establecieron una comunidad interactiva de *arboreta* conocida como ArbNet la que fomenta el establecimiento y profesionalización de los *arboreta*, con el objetivo de identificar los que son capaces de colaborar en actividades científicas, de

recolección o conservación, y avanzar en la plantación y conservación de árboles. A esta comunidad pueden acceder *arboreta* y jardines públicos facilitando la creación de redes entre profesionales (Turner-Skoff et al., 2021).

Son parte de la red ArbNet más de 2.100 *arboreta* registrados en todo el mundo, con diferentes niveles de acreditación basados en el tamaño de la colección, la programación educativa y la capacidad para la ciencia y la conservación de los árboles. Durante la última década se han acreditado más de 470 *arboreta* en 35 países (Figura 1), aunque se están implementando programas para que otras instituciones que históricamente no eran consideradas tradicionalmente como jardines botánicos y *arboreta* (entre ellos se encuentran zoológicos, instituciones de investigación, escuelas, colecciones de árboles municipales, entre otros), puedan ser parte de este programa (Turner-Skoff et al., 2021). Por otro lado, la red de ArbNet ofrece asociaciones y oportunidades de colaboración para ayudar a los *arboreta* de todos los niveles de capacidad a participar en la investigación, la horticultura, divulgación educativa y conservación (Turner-Skoff et al., 2021).

Figura 1

Mapa de los arboreta acreditados en los cuatro niveles



Nota. Tomado de Turner-Skoff et al. (2021).

Entre las múltiples funciones que puede tener un *Arboretum*, se encuentra la de brindar información acerca de plagas forestales. Este uso es particularmente utilizado por el Servicio Forestal de la USDA (Servicio de Agricultura de los Estados Unidos), quienes a partir de 2015 comenzaron a tomar muestras de árboles estresados en busca de insectos plaga de la madera en especies nativas y exóticas, principalmente enfocados en la búsqueda de plagas desconocidas. Muchos de los insectos invasores obtienen el acceso a jardines y *arboreta* urbanos en ciudades portuarias, es por esto, que algunos *arboreta*, como por ejemplo los universitarios y las colecciones de árboles presentes en cementerios ubicados cerca de los principales puertos comerciales, les ofrecen a las instituciones la oportunidad de monitorear a estos insectos plaga (Bohne & DiGirolomo, 2021).

Como los jardines y *arboreta* tienen grandes colecciones exóticas los mismos pueden ser utilizados para la investigación centinela, como aporte en la protección de la sanidad vegetal mundial. El término centinela hace referencia a una planta que se encuentra fuera de su hábitat natural y que está expuesta a plagas y enfermedades nativas en sus nuevas regiones (Eschen et al., 2019). En este sentido, en estas colecciones vivas se pueden monitorear y registrar los cambios en la salud de las plantas de manera rápida y precisa (Barham, 2016). La red internacional de plantas centinela creada en 2013, funciona como un sistema de alerta temprana mediante el intercambio de información sobre nuevos brotes de plagas en colecciones exóticas de jardines botánicos y *arboreta*. Esta red cuenta con 71 *arboreta* y jardines botánicos, y como ejemplo en 2016 el Instituto Nacional de Biodiversidad de Sudáfrica, junto con el Instituto de Biotecnología Forestal y Agrícola (FABI), inició un Proyecto de Planta Centinela por el cual se han detectado 53 plagas, utilizando los siete jardines botánicos y *arboreta* que se encuentran ubicados en Sudáfrica y son parte de esta red (Cheek & Proches, 2022).

Por otro lado, la plantación de árboles se considera como una actividad ambientalmente importante ya que constituye una respuesta efectiva al cambio climático provocado por las emisiones de carbono y en la restauración de bosques degradados, dado que algunos de los árboles representados en los jardines botánicos y *arboreta* ya se han extinguido en la naturaleza (Primack & Miller-Rushing, 2009). Según el Instituto de Recursos Mundiales, del 30 % de la superficie terrestre estaba cubierta por bosques antes de la revolución industrial, sólo el 15 % permanece intacto, el 35 % se encuentra fragmentado, el 20 % degradado y el 30 % restante fue talado por completo. La mayor parte de los bosques degradados o fragmentados ya no brinda la gama completa de hábitats ni servicios ecosistémicos para las plantas y

animales nativos en esas áreas (MEA, 2005, como se cita en Miller et al., 2016; Oldfield, 2009).

En los últimos años la ciencia ha demostrado que los árboles brindan beneficios esenciales a las personas, que van desde mejorar la salud hasta crear ciudades sostenibles. Los árboles son la columna vertebral de muchos ecosistemas terrestres y son esenciales para sustentar la biodiversidad. En estos sitios sobresale el alto porcentaje de especies con múltiples usos, lo que evidencia la enorme riqueza de componentes bióticos y, en consecuencia, de servicios ambientales que ofrecen los *taxa* arbóreos de los bosques (Esparza-Olguín et al., 2020). A pesar de ello, se estima que en el mundo se pierden 15 millones de árboles cada año y la gran parte de la población mundial no es consciente de cuán esenciales son los árboles por sus beneficios tangibles e intangibles. Se destaca la importancia de estos como reservorios de especies representativas de muchos bosques, y como espacios de conservación de especies amenazadas (Turner-Skoff et al., 2021).

Hoy en día existen varios problemas que no están relacionados a la capacidad técnica para resolver los problemas en las colecciones, sino que tienen relación con el desarrollo cultural de las sociedades y la falta de digitalización de la información y su comunicación. Las colecciones de jardines botánicos y *arboreta* muchas veces se conservan o cultivan por razones diferentes a las de las comunidades forestales y agrícolas, como pueden ser, exhibición pública, conservación e investigación, por lo que el apoyo para su mantenimiento puede verse afectado. Estas colecciones son mucho más diversas desde el punto de vista taxonómico que los sectores dedicados a los cultivos de producción (Hudson et al., 2021).

Se estima que los jardines botánicos cultivan más de 105.000 especies de plantas con flores, y más de cientos de miles de cultivares, en gran parte ornamentales, pero en general no cultivan grandes cantidades de diversidad genética intraespecífica. Sin embargo, la comunidad de jardines botánicos y *arboreta* tiene mucho más que aportar, incluidos datos y material de muchas colecciones significativas de *taxa* de importancia socioeconómica que no están presentes en las comunidades agrícolas y forestales. Estas instituciones podrían ayudar a superar los problemas ya identificados en el uso de plantas socioeconómicamente importantes, al ser una fuente de germoplasma, como capacitadores de habilidades técnicas necesarias para cultivarlas y para el uso sostenible de esas poblaciones de plantas, creando conciencia sobre la importancia de su uso en el paisaje (Hudson et al., 2021).

Además, los *arboreta* han sido fundamentales en los estudios de introducción de especies madereras (uso del arboreto en la silvicultura), y en la investigación sobre el rendimiento y la aptitud de las especies. Pero, también, los ensayos en los *arboreta* tienen el objetivo de evaluar especies que podrían servir para entornos urbanos, recreativos o para usos particulares como cortavientos o estabilización de suelos (uso hortícola del arboreto), dado que la selección de árboles con tamaño y forma apropiados disminuye los costos de mantenimiento de la región en la que serán implantados (Cheek & Proches, 2022).

3.3 LA INVESTIGACIÓN FORESTAL EN URUGUAY

En 1911 se fundó el semillero y vivero nacional de Toledo donde al año siguiente inició su actividad la escuela de capataces dirigida por José A. Otamendi, lugar donde se dictaban, entre otras asignaturas, Silvicultura. En 1913 se transformó en establecimiento de avicultura, semillero y vivero nacional, bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Ciro Sapriza Vera. Entre los años 1918 y 1919 se realizaron las

primeras publicaciones locales sobre silvicultura elaboradas por el Ing. Agr. Enrique Etcheverry del Instituto Nacional de Agronomía, actual Facultad de Agronomía (Porcile, 2007).

En 1925 la Escuela de Agronomía se transformó en Facultad, integrándose a la Universidad de la República, después de varios cambios de gestión desde su creación (Olivero, 2018). Desde entonces se hicieron numerosos trabajos y estudios sobre las alternativas de cultivo y aprovechamiento de distintas especies forestales como lo afirman los trabajos en pinos de los Ingenieros Menéndez Lees y Quinteros, entre otros, publicados en sucesivos números de la revista de la Facultad de Agronomía (Porcile, 2007).

En 1942 se iniciaron las primeras intervenciones silvícolas en las plantaciones conocidas como los bosques de Punta Ballena. Se realizaron operaciones de manejo con raleos por lo bajo de pino marítimo dirigidas por los Ingenieros Sapriza Vera y Quinteros, lo que aportó una valiosa información silvícola. Ambos eran docentes por lo que difundieron los conocimientos derivados de esas experiencias (Porcile, 2007).

A mediados de los años 1950, las investigaciones vinculadas a la introducción y adaptación de especies exóticas a nuestras condiciones ecológicas, tradicionalmente escasas y aisladas, se vieron impulsadas con la instalación de nuevos ensayos de orígenes y procedencias. Se establecieron parcelas en su mayoría con más de 10 años de edad, con especies consideradas de interés, por parte de la sección forestal de la Facultad de Agronomía en Bañado de Medina, en la actual EEER (Cerro Largo), Espinillar (Salto), Piedras Coloradas (Paysandú), y Pan

de Azúcar (Maldonado), las últimas pasaron posteriormente a ser controladas por la Dirección Forestal (Heguy & Del Rey, 1981).

En 1951 se creó la Escuela Industrial de Silvicultura de la Universidad del Trabajo (en Maldonado), fundada por el Ingeniero Agrónomo Gregorio Helguera. A partir del inicio de las actividades en la escuela se registran entre otras experiencias de destaque, la implantación de masas forestales exóticas en Colonia para mueblería (Heguy & Del Rey, 1981).

En 1952 se realiza una publicación titulada “Posibilidades de difundir el género *Pinus* en el Uruguay”, donde se muestran los trabajos realizados sobre la técnica de siembra de asiento en algunas especies de pinos para dos colecciones de *Pinus* existentes en el Departamento de Maldonado, incluyendo también referencias sobre las distintas especies que integraban esas dos colecciones en estudio (Del Castillo, 1952).

Los plazos generalmente largos de la producción forestal frente a otras producciones siempre han constituido un factor clave en la toma de decisiones a escala empresarial a la vez que definieron la diferencia en los tiempos de la actividad privada y la del Estado, Esta condición motivó que la investigación forestal fuera conducida inicialmente por el Estado. Además, el Estado contaba con la disponibilidad de predios fiscales en áreas marginales para producciones tradicionales, en los cuales experimentar con foco en la producción forestal (Porcile, 2007).

La coordinación entre la Escuela Industrial de Silvicultura en Maldonado con sus campos auxiliares de Aiguá y Pan de Azúcar, la Facultad de Agronomía en sus estaciones experimentales en Salto, Paysandú y Bañado de Medina (Cerro Largo), la Sección Forestal del Ministerio de Ganadería y Agricultura en Toledo, parques e islas

fiscales y arenales de Rocha y la Sección Parques Nacionales del Ministerio de Obras Públicas en Carrasco, Sarandí Grande y otras áreas pequeñas, comenzaron a desarrollar ensayos forestales con intercambio de experiencias. Esta forma de trabajo permitió realizar observaciones en una amplia gama de ambientes, abarcando distintas regiones y sitios forestales del país. Posteriormente, en 1960 se realizaron los primeros experimentos silvícolas con análisis estadístico en conjunto con la Facultad de Agronomía (Porcile, 2007).

Para 1953 se registran importaciones de semillas de especies de pinos provenientes del Norteamérica (*Pinus palustris* Mill., *P. taeda*, *Pinus rigida* Hook. & Arn., *Pinus echinata* Mill. y *Pinus caribaea* Morelet), de las que se obtienen plantas que fueron distribuidas en diversas forestaciones particulares. De esta forma se iniciaría posteriormente el estudio de especies de pinos de las diferentes regiones de ese continente: del Sureste de EEUU (*P. taeda*, *Pinus elliotii* Engelm., *P. palustris* y *P. echinata*); de las regiones Centro-Oeste y Pacífico (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson, *Pinus lambertiana* Douglas y *P. radiata*); y de la región Atlántica (*Pinus strobus* Thunb.). A dichos estudios se agregaron *P. patula* de México y *P. pinaster* de la región mediterránea (Porcile, 2007).

En 1956 se establece el *Arboretum* en la actual EEBR, mediante la incorporación de especies de varias partes del mundo, con el propósito de instalar ensayos para la selección de materiales destinados a programas de mejoramiento genético forestal (Olivero, 2018).

En 1957 se realiza un estudio como parte de una tesis final de grado, sobre especies forestales recomendables para el Uruguay, basado en enseñanzas del técnico forestal australiano Lewis Rogers, con cartillas de divulgación sobre el cultivo

de acacia blanca (*Robinia pseudoacacia* L.) y del ciprés calvo [*Taxodium distichum* (L.) Rich.] (Otero, 1957).

En 1959 Fernández realiza una tesis final de grado donde describe características físicas y mecánicas de maderas y enraizamiento de estacas en *Pinus pinaster*, y registros de crecimiento del género *Eucalyptus*, en individuos forestales y ornamentales ensayados en el vivero del Departamento de Parques Nacionales y en el Parque Franklin Roosevelt (Fernández, 1959).

En 1960 comienza la actividad del Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía creado en 1959, como parte de la necesidad de unificar esfuerzos en materia de enseñanza superior especializada en esta área. Hasta ese momento el área forestal era una rama complementaria dentro del programa curricular del Ingeniero Agrónomo, y se ofrecía durante el último año de práctica en la carrera y fundamentalmente durante el ejercicio profesional (Porcile, 2007).

Desde la formación del Departamento Forestal, la Facultad de Agronomía se enfocó en diversos temas de investigación vinculados a la producción forestal y el aprovechamiento de los productos del bosque, con el objetivo de lograr la máxima rentabilidad para ese sector. Para abordar esos desafíos el grupo académico proyectó nuevas líneas de investigación en los principales sitios identificados como forestales: suelos arenosos, sierras, islas, bañados y dunas costeras (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

El Ing. Agr. José Krall, jefe de la Sección Forestal de la Escuela de Agronomía de Cerro Largo, Bañado de Medina (actual EEBR), inició las investigaciones por parte de la Facultad de Agronomía mediante el estudio integral de las especies del género *Pinus*, para lo que introdujo un importante número de

especies de diferentes regiones desde sus áreas naturales de distribución (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

Para 1960 el Ing. Agr. Krall instala el primer ensayo de especies y orígenes de pinos del sudeste de EEUU, con diez orígenes de *Pinus taeda*, cinco de *P. elliotii* var. *elliotii* y cinco de *P. echinata*. A partir de estos ensayos de especies y procedencias, se registraron las que tuvieron el mejor comportamiento desde la producción de plantas hasta su instalación, con la finalidad de estudiar las diferencias de comportamiento entre especies y analizar su adaptabilidad según los orígenes de cada especie (Porcile, 2007). En el mismo año, se realizó un ensayo de especies y procedencias en la EEER ("Fondo del Potrero 8"), con el objetivo de analizar en forma más amplia la diferencia entre *Pinus taeda*, *Pinus elliotii* y *Pinus echinata*, con materiales de las zonas detectadas como de mejor crecimiento para cada una de esas especies (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

En 1961 se realizaron las Primeras Jornadas Forestales, en el Campo Auxiliar de la Escuela de Silvicultura de Maldonado de la Universidad del Trabajo del Uruguay, donde se analizaron los avances sobre las investigaciones forestales del país, contando con la presencia de la Junta Honoraria Forestal, la Asociación de Productores Forestales, la Asociación de Fabricantes de Papel, la Asociación de Técnicos Forestales y la Facultad de Agronomía. De esta actividad y sus resoluciones y recomendaciones, comienza fuertemente la idea del seguimiento en investigaciones en especies de rápido crecimiento (Porcile, 2007).

En 1962 se realiza en la EEER (Facultad de Agronomía), un estudio de susceptibilidad a insectos y enfermedades de especies coníferas de EEUU en Uruguay. Las especies estudiadas fueron: *P. taeda*, *P. echinata*, *P. palustris*, *P. elliotii*

var. *elliottii*, *Pinus elliottii* var. *densa* Little & K. W. Dorman, *P. ponderosa*, *P. lambertiana*, *P. strobus*, *P. radiata*, y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979). Algunas de las especies, como *P. menziesii* no superaron la etapa de vivero para luego ser instaladas en el ensayo (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

Entre los años 1963 y 1964 se instaló el ensayo denominado “Ley 480” dirigido por el Ing. Agr. Enrique Vitali en tres sitios, en El Espinillar (Salto), en la EEBR en Bañado de Medina (Cerro Largo) y Pan de Azúcar (Maldonado) (Porcile, 2007). En el año 1964 se instala el “Ensayo Bicentenario”, el cual incluyó cinco orígenes de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, doce orígenes de *Pinus taeda*, cuatro orígenes de *Pinus echinata* y un origen de *Pinus serotina* Michx. (*Segundas jornadas forestales*, 1979). En este mismo año, además se incorporaron a la experimentación del país distintas especies de eucaliptos, entre las que *Eucalyptus grandis* W. Hill. (desde Sudáfrica) y *Eucalyptus saligna* Sm., resultaron las más alentadoras (Porcile, 2007). El ensayo de *E. grandis* a partir de material procedente de Sudáfrica fue afectado por las intensas heladas del siguiente año, por lo que los individuos que se mantuvieron en crecimiento fueron utilizados para las siguientes etapas de mejoramiento instaladas en la EEBR ya que demostraron tener tolerancia a las bajas temperaturas (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

En 1968 en los campos de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias en Piedras Coloradas, Paysandú, el Ing. Agr. Julio C. Laffitte y el Ing. Agr. Enrique Vitali proponen doce ensayos sobre una superficie de más de 60 ha en diferentes especies de eucaliptos y pinos, evaluando diferentes características en un acuerdo con la Dirección Forestal: espaciamiento en *Eucalyptus saligna* y pinos para producción de madera para aserrado, comportamiento de especies de eucaliptos,

fertilización en plantaciones de *E. saligna*, introducción de especies y procedencias de pinos, métodos de preparación de suelos para plantación de pinos a raíz desnuda, procedimientos para plantaciones de álamos; espaciamiento en álamos y ensayo comparativo de clones de álamos con fertilización. Además, se incluyó un ensayo de comportamiento en plantación de algarrobo (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

Todos los ensayos de este acuerdo se sumaron a una red de experimentación distribuida en diferentes zonas edafoclimáticas del país: Litoral Oeste y Centro Norte (El Espinillar, Salto; Chapicuy, Isla Almería y Nuevo Paysandú, Paysandú; Paso del Puerto, Soriano; Costas de Cuñapirú, Rivera; Tacuarembó y Costas del Yi, Durazno) y Sur y Sureste (Juanicó, Toledo y Parque Roosevelt, Canelones; Arequita, Lavalleja; Pan de Azúcar, Maldonado y Valizas – Aguas Dulces, y La Angostura, Rocha) (Porcile, 2007).

En 1970 el Ing. Agr. Krall publica sus “Fundamentos para nuevas introducciones de *Eucalyptus* en el Uruguay”, donde realiza un estudio de comparación de las condiciones ecológicas del lugar de procedencia y origen de diversas especies del género y las de nuestro país (Krall, 1970b).

En 1976 se crea un banco de semillas mediante un convenio entre la Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), el Ministerio de Educación y Cultura y la Facultad de Agronomía, con el objetivo de lograr el abastecimiento interno de semillas forestales, realizar investigaciones sobre los procedimientos para la recolección de frutos y extracción de semillas, poner en funcionamiento un centro de procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. Esto se realiza en el vivero Nacional Dr. Alejandro Gallinal para permitir un abastecimiento permanente y capacitar a los estudiantes de la Facultad de Agronomía

y de la Escuela de Silvicultura (Universidad del Trabajo), y divulgar los resultados de las investigaciones (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

En 1979 se instalan los primeros huertos semilleros de pinos (*P. elliotii* y *P. taeda*) en la EEER de la Facultad de Agronomía, a partir de progenies de árboles selectos de Florida, Georgia y Sudáfrica (*P. elliotii*); y Florida, Louisiana Texas y Sudáfrica (*P. taeda*) (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

A partir de 1980 comienza a observarse un mayor interés en la formación en disciplinas forestales y relacionadas a los sistemas de producción forestal, con la aparición de instituciones privadas interesadas en la incorporación de la enseñanza forestal en sus programas de estudio. El comportamiento en los crecimientos en *Pinus radiata* introducido en el país en 1871 por Buschental, superaron ampliamente a las especies europeas tradicionalmente utilizadas en Uruguay (*Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Pinus halepensis* Mill.). Esta especie tuvo un auge importante para aquel entonces motivando su aumento de área cultivada en una diversidad de suelos del país, aunque con variables resultados debido principalmente a problemas fitosanitarios (Porcile, 2007).

El buen comportamiento inicial de de *P. radiata* fue reportado por Krall en sus primeros ensayos, lo que llevó incluso a la instalación de un ensayo para la creación de un huerto semillero en la EEER, aunque los problemas sanitarios posteriores impidieron mantener ese programa de forma exitosa (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

También en 1980 otras líneas de investigación fueron incorporadas a los ensayos, más enfocadas en aspectos sanitarios, las que continuaron con la solicitud del diseño de un plan nacional de desarrollo para el establecimiento de recursos

forestales y un uso eficiente de la madera. Esto se pudo llevar a cabo con la asistencia del gobierno de Japón y la creación del “Estudio del Plan Maestro para el Establecimiento de Plantaciones de Árboles y Utilización de la Madera Plantada” (Porcile, 2007).

En 1986, con la adopción y posterior ejecución al momento de la promulgación de la segunda Ley Forestal (1987) y su instrumentación se aprobaron incentivos y se creó el fondo forestal (Porcile, 2007).

El continuo crecimiento a partir del desarrollo forestal y la reglamentación de la Ley Forestal generó cambios en el sector de la producción agropecuaria y su organización, así como en el cambio en el uso del suelo y su manejo, entre otros aspectos relacionados al uso de los recursos del ambiente (Porcile, 2007).

La política forestal llevada adelante a partir de este desarrollo forestal no sólo se enfocó en los procesos productivos primarios, sino también en las de la gestión de las unidades forestales y sus recursos, la etapa de cosecha, transformación y comercialización de los productos, estableciendo los marcos políticos, jurídicos y económicos nacionales que permitieran el establecimiento de los recursos forestales nativos e implantados y el desarrollo de las industrias asociadas (Porcile, 2007). Como resultado de dichas políticas, a partir de 1990, comenzó a verificarse un notable incremento de los recursos forestales colocando a Uruguay en el escenario mundial (Porcile, 2007).

Con el desarrollo del proyecto de cooperación sobre Mejoramiento Forestal con la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) junto con al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) durante los 1980, hacia fines de 1990 se le asignaron las funciones de investigación forestal al INIA (Porcile, 2007).

En 1991 se creó el Programa Nacional de Investigación Forestal de INIA, en conjunto con la Facultad de Agronomía, con sede en la Estación Experimental de Tacuarembó, el cual permitió desarrollar los programas nacionales de mejoramiento genético de las especies declaradas de prioridad forestal. Una de las líneas de investigación incluyó estrategias de mejoramiento para la evaluación de árboles superiores de *Eucalyptus grandis* (árboles plus), mediante ensayos de progenie instalados en diferentes sitios del Uruguay, incluyendo el apoyo de diversas empresas forestales instaladas en el país (Bennadji & Scoz, 2017).

El INIA entonces instala uno de estos ensayos en la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurtt con el objetivo de comparar las características de los padres seleccionados de 121 fuentes de semillas utilizadas en el país. Desde este programa en 1993 se establecieron ensayos de especies y procedencias de *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & M. B. Weich, *E. bosistoana*, *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. maidenii*, *E. paniculata*, *E. saligna*, *E. tereticornis* y *E. viminalis*, y para 1993 y 1994 se realizó la selección de árboles superiores (árboles plus) de *Eucalyptus grandis* (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

En 1996 el Programa Nacional de Investigación Forestal en su estrategia de mejoramiento incluyó la evaluación de árboles superiores de *Eucalyptus globulus*, a través de ensayos de progenie instalados en diferentes sitios, donde uno de ellos fue instalado en la EEER. En estos ensayos se compararon las características de los padres seleccionados de 65 fuentes de semillas utilizadas en el país (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

El Programa Nacional de Investigación Forestal en 2005 establece ensayos de híbridos interespecíficos de diferentes especies de *Eucalyptus*: *E. grandis* (bulk de 9 familias de Huerto Semillero); *E. grandis* (1 familia de Huerto Semillero); *E. dunnii* (Urbenville, Australia); *E. benthamii* (CSIRO Australia); Híbrido (*E. grandis* x *E. globulus* subsp. *globulus*) x (*E. grandis* elite); Híbrido (*E. urophylla* x *E. globulus* subsp. *globulus*) x (*E. grandis* elite) (Torres et al., 2011).

En 2011 el Programa Nacional de Investigación Forestal instala un banco clonal de *Populus* con 72 clones provenientes de *Populetum* de Azucitrus, del Vivero Dr. Alejandro Gallinal del MGAP, plantaciones comerciales de Uruguay, plantaciones comerciales del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y plantaciones comerciales de Argentina (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

También en 2011 el INIA crea el primer banco nacional de ADN con los principales materiales de élite del género *Eucalyptus* cultivados en Uruguay, con muestras y bancos de germoplasma con el objetivo de trabajar en las limitantes tecnológicas debido a la ausencia de un sistema de registro de clones en el país, donde participaron la mayoría de las empresas forestales instaladas en Uruguay (*e.i.* UPM Forestal Oriental, Montes del Plata, Weyerhaeuser, Sierras Calmas) e INIA (Torres et al., 2011).

3.4 ARBORETUM EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PROFESOR BERNARDO ROSENGURTT

La Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt (Bañado de Medina, Cerro Largo) es una de las cuatro estaciones experimentales que forman parte de la Facultad de Agronomía. La EEER está ubicada en el kilómetro 408 de la Ruta Nacional N° 26, a 25 kilómetros de la ciudad de Melo, capital del departamento de

Cerro Largo, perteneciendo a la 6ª Sección Judicial y Policial de dicho departamento. Este tramo de la ruta 26 es el que conecta las ciudades de Melo con la de Tacuarembó (Olivero, 2018).

La Estación ocupa 997 ha, de las cuales 200 están dedicadas a la lechería, 80 están destinadas a plantaciones artificiales que se orientan a trabajos experimentales en la producción forestal, y la superficie restante se dedica a la ganadería de carne (Olivero, 2018).

La EEBR cuenta con campos a ambos lados de la ruta 26, y la superficie dedicada a las actividades forestales está distribuida tanto en la zona que abarcan los potreros al este de la ruta 26, como al oeste, donde se encuentra el *Arboretum* (Olivero, 2018). El mismo se ubica a aproximadamente 8 kilómetros del pueblo de Bañado de Medina, a 4 kilómetros de la sede central de la EEBR y a 3 kilómetros de la ruta 26. El área forestada del campo en el cual se encuentra el *Arboretum*, consta de aproximadamente 14 ha, encontrándose entre la latitud 39° 09' 22" S y longitud 43° 24' 17" O.

Desde 1955 el Ing. Agr. José Krall realizó diversas investigaciones acerca del comportamiento de las principales especies y variedades forestales, teniendo en cuenta las diferentes capacidades de adaptación de cada una, siendo pionero en esa área ("Un recuerdo para el ingeniero Krall", 2014).

En 1956 Krall instala en un campo de la EEBR lo que se llamaría "el *arboretum*", con introducción de especies de varias partes del mundo, con el objetivo de comenzar con la instalación de ensayos para la selección de materiales destinados a programas de mejoramiento genético forestal (Olivero, 2018).

Según información publicada en la jornada forestal realizada en la EEER en 1979, en el año 1957 en el *Arboretum* estaban presentes las siguientes especies:

- *Quercus bicolor*, *Q. cerris*, *Q. phellos*, *Q. palustris*, *Q. laurifolia*, *Q. robur*
- Fuente de germoplasma para *Eucalyptus sideroxylon*, *E. saligna*, *E. leucoxyton* y *Corymbia maculata*
- *Pinus taeda*; *P. elliotii*; *P. patula*, *P. devoniana* (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979).

Según Olivero (2018), en 1962 el *Arboretum* constaba de cerca de 10 ha, donde se encontraban registradas unas 75 especies de 25 géneros. El objetivo de Krall al realizar este *Arboretum* era no sólo realizar observaciones sobre las especies, sino también generar áreas de prácticas para la educación en los cursos de silvicultura de la carrera de técnico rural dictados en la estación en esa época.

Basado en las varias visitas a la EEER en el marco del proyecto de la publicación de su libro, Olivero (2018) describe al *Arboretum* de la siguiente manera:

Robles, nogales y fresnos de distintas especies engalanan el paisaje espectacular que conforman el arboreto, donde las nutrias, los chajás y cardenales están presentes. Puede apreciarse el *coniferatum* (*Arboretum* de pinos). Está deteriorado, pero aún quedan algunos pinos de las especies *P. taeda*, *P. elliotii*, *P. pinea* y *P. patula*. Algunos eucaliptos en una loma se diferencian en especies por la forma de pérdida de la corteza (*E. saligna*, *E. grandis* y *E. botryoides*). (p. 261).

El *Arboretum* de la EEER presenta diversas especies leñosas de uso forestal y ornamental, con una importante diversidad de especies de los géneros *Eucalyptus*

y *Pinus*, implantados con objetivos específicamente para la investigación en producción forestal y la instalación de ensayos de evaluación del comportamiento productivo de las especies exóticas en las condiciones climáticas del Uruguay (Olivero, 2018).

El *Arboretum* de la EEBR fue el inicio de las investigaciones para los primeros programas de mejoramiento genético de especies forestales en Uruguay, generando posteriormente una sucesión de ensayos para la evaluación de diferentes materiales genéticos, así como para la producción de semillas de materiales mejorados (L. Gallo, comunicación personal, 2022).

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO FORESTAL Y SU EVALUACIÓN

3.5.1 El sitio forestal y las especies

El sitio, término de uso exclusivamente forestal es el espacio físico donde crece o puede crecer un rodal y se define por el potencial para sostener el crecimiento de los árboles. Los factores que clasifican un sitio son el clima, la topografía, el suelo y la vegetación; aunque la calidad de un sitio es el resultado de la interacción de los factores clima y suelo, por lo tanto, el sitio se podría definir como un área en la que la combinación de suelo y clima son lo suficientemente homogéneas para permitir el crecimiento y desarrollo de una masa vegetal. Esta relación hace con que se dé lugar a un proceso evolutivo gradual de los vegetales, impartiendo características propias para cada especie. También se citan como factores físicos del sitio el macroclima, el clima local, el suelo y el estado nutricional del mismo, los cuales determinan la oferta del sitio para el desarrollo de la flora. Por lo tanto, el análisis de la composición florística (mediante observación, colecta y análisis de datos de variables cuantitativas) es apropiado para la caracterización de un sitio (Schlatter & Gerding, 2014).

En 1983, la Dirección de Suelos del MGAP elaboró una clasificación de los suelos del Uruguay según su capacidad basada en la interpretación agronómica de la Carta de Reconocimiento de Suelos del país a escala 1: 1.000 000 con el objetivo de lograr categorías de tierras lo suficientemente homogéneas en cuanto a su posible aptitud de uso y manejo (Durán & García Préchac, 2007).

Como se cita en Durán y García Préchac (2007), tomando como base la Carta de Reconocimientos de Suelos del Uruguay a escala 1: 1.000 000, en 1980 Sganga realizó una interpretación de la “aptitud forestal” (definición técnica) de los suelos del Uruguay. Sganga señala que las especies forestales se desarrollan en suelos de textura gruesa, desaturados en bases y por lo tanto de reacción ácida. Asimismo, la disponibilidad de agua es muy importante. Estas propiedades se tomaron en cuenta en la definición de “aptitud forestal” de los suelos incluida en la Ley Forestal. Teniendo en cuenta estas condiciones Sganga establece que los suelos de mejor aptitud forestal del Uruguay son: Luvisoles y Acrisoles; Argisoles, Planosoles y Brunosoles de clases dístricas y subéutricas y textura franco arenosa más liviana; Arenosoles, Fluvisoles, Inceptisoles, Gleysoles e Histosoles no salinos (Durán & García Préchac, 2007).

Otro sistema de evaluación de la tierra es el desarrollado por CONEAT (Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la Tierra) en la década de 1970. Esta forma de agrupar los suelos fue elaborada para evaluar la capacidad productiva de la tierra en términos de producción por ha de carne bovina y ovina en pie y de lana, tal como se indica en el art. 65 de la Ley N° 13.695 (1968). Esta clasificación se basa en la Clasificación de Suelos del Uruguay y además aporta los tipos y propiedades de suelos presentes en cada grupo (Durán & García Préchac, 2007).

Las especies del género *Eucalyptus* son originarias de los bosques de Australia. En Australia los suelos son pobres y de textura ligera. Muchos muestran un contraste entre el horizonte superior y los horizontes inferiores como resultado de sucesivos ciclos de erosión y posterior deposición. La baja proporción de nutrientes de estos suelos, indujo a las plantas a ser tolerantes a suelos infértiles (Boland et al., 2006). A. Baietto (comunicación personal, 2023) menciona que, según Califra, en Uruguay las especies del género *Eucalyptus* se encuentran cultivadas principalmente sobre suelos Acrisoles, Luvisoles, Argisoles y Brunosoles.

Eucalyptus tereticornis, en su lugar de origen (desde la costa Noreste a la costa Sureste de Australia), prefiere suelos aluviales, fértiles, franco-arenosos, húmedos, con buen drenaje, pero se adapta a una amplia gama de suelos (Boland et al., 1980 como se cita en Brussa, 1994). *Eucalyptus saligna* naturalmente se localiza en suelos franco-arenosos, profundos, de naturaleza aluvial, tolerando texturas con mayor contenido de arcilla. *Eucalyptus botryoides*, se desarrolla en suelos profundos, aluviales, húmedos, no se adapta a suelos superficiales. *Eucalyptus amplifolia*, naturalmente se halla asociado a *Eucalyptus tereticornis* y se encuentra en suelos pesados, a menudo mal drenados y aún salinos. *Eucalyptus crebra*, natural de suelos muy variados, desde arenosos hasta arcillosos, adaptándose a suelos pesados. *Eucalyptus leucoxylon*, en su área natural es frecuente en suelos pesados de reacción un poco ácida, aunque también suelos franco-arenosos y subsuelos pesados. *Eucalyptus tricarpa* se adapta a una amplia gama de suelos, incluso superficiales y también moderadamente salinos. *Eucalyptus propinqua*, se adapta a una gran diversidad de suelos, aunque prefiere franco-arcillosos o incluso franco-arenosos, siendo exigente en el buen drenaje de los mismos (Boland et al., 1980 como se cita en Brussa, 1994).

Otras especies, como las del género *Quercus* en Europa, han sido reportadas como muy plásticas respecto a su comportamiento en diferentes suelos, aunque ha demostrado mejores resultados en suelos profundos (Burckhardt, 1947 como se cita en Heberling et al., 1999).

Las especies del género *Fraxinus*, crecen mejor en suelos arcillo-arenosos, calcáreos, húmedos y profundos, bien drenados y con un alto contenido de nitrógeno (Kerr, 1995 como se cita en Loewe et al., 1997).

En su región de origen *Eucalyptus tereticornis*, (desde el sur de Victoria cruzando Nueva Gales del Sur y Queensland hasta los bosques de sabana de la costa de Papúa Nueva Guinea) tiene promedios anuales de precipitación que varían entre 500 y 1500 mm, con temperaturas medias de 22 a 32 °C, en el mes más cálido y de 2 a 12 °C en el mes más frío (Boland et al., 2006).

En cuanto al clima de Uruguay, la temperatura media anual para la zona Noreste, ronda en los 17 °C y las precipitaciones medias anuales se encuentran entre los 1.200 y 1.600 mm (Pérez, 2016).

3.5.2 Importancia de la evaluación del crecimiento en el sitio forestal

La medición de la altura a campo requiere mucho esfuerzo, precisión y tiempo, y también es muy costosa, por lo que es de gran utilidad el ajuste de modelos estadísticos para estimar la altura total (H_t) en base a otras variables de mensura más sencillas como, por ejemplo, el diámetro a la altura del pecho (DAP). Es por esto que existen técnicas que consisten en medir el diámetro de todos los árboles de una parcela, seleccionando solo algunos de estos para mensurar su altura, y con los datos construir una curva altura-diámetro para estimar la altura de aquellos árboles a los que solo se les midió el diámetro (Aldana, 2008).

Tradicionalmente el grosor de los árboles en pie se define a través de expresiones comunes como diámetro, circunferencia y/o área basal. El diámetro es una de las expresiones más utilizadas para representar el crecimiento acumulado en grosor en las especies leñosas el cual puede medirse directamente por medio de una cinta diamétrica o mediante la medición de la circunferencia y su posterior transformación. Estas medidas pueden ser tomadas a diferentes alturas, dependiendo de la edad de los individuos o los objetivos asociados a la toma de datos (Sorrentino, 2010).

La medición del diámetro a 1,30 m desde el nivel del suelo es una de las medidas más convencionales en las ciencias forestales. Esta medida se toma en árboles que no poseen alteraciones o raíces aéreas, o que las poseen, pero a menos de un metro de altura. El diámetro de referencia medido de esta forma, comúnmente se denomina diámetro a la altura del pecho (DAP) y generalmente se mide a campo utilizando cinta diamétrica, forcípula, sectores de diámetro o reglas Biltmore (Sorrentino, 2010).

Existen numerosos instrumentos para medir el grosor de los árboles en pie. Los factores que generalmente se tienen en cuenta para elegir el más adecuado grado de exactitud que se requiera dependen de la rapidez para efectuar la medición (ya que el tiempo suele ser un factor limitante), la facilidad de uso del instrumento y la comodidad de transporte en el bosque, las dimensiones diamétricas de los árboles del bosque según sus rangos diamétricos y el costo de los instrumentos (Sorrentino, 2010).

La cinta común es una cinta ordinaria que da directamente la circunferencia del tronco, por lo que luego debe realizarse la transformación al diámetro

correspondiente. Para evitar cometer errores considerables en las mediciones, deben tenerse en cuenta ciertos aspectos, tales como cuidar que la cinta pase horizontalmente sobre la circunferencia del árbol, en un plano perpendicular al eje del tronco (Sorrentino, 2010).

La estimación de la altura se utiliza para evaluar la calidad del sitio, ya que se considera como parámetro estimador del “índice de sitio”, en función de la edad de los árboles. De acuerdo al propósito de las mediciones pueden considerarse varios tipos de altura: altura total, altura comercial y altura del tallo, tronco o fuste. La determinación de la altura se puede realizar utilizando diferentes herramientas en la actualidad, aunque una de las más empleadas han sido los instrumentos basados en cálculos de distancias y ángulos (Sorrentino, 2010).

El funcionamiento de las herramientas utilizadas para la medición de alturas se basa en dos principios fundamentales: principios geométricos (relación entre triángulos semejantes) y principios trigonométricos (en base a triángulos rectángulos, conociendo ángulos y lados), lo que permite estimar las alturas de los individuos (Sorrentino, 2010).

A las relaciones altura-diámetro se las conoce comúnmente con el nombre de modelos hipsométricos y se basan en el principio de que la relación existente entre las variables es explicada por cinéticas logarítmicas. La técnica de la relación hipsométrica consiste en la mensura de todos los diámetros de los árboles y la elección de algunos de ellos para la medición de la altura, y en base a esos dos datos, se elabora un modelo que logre estimar este último valor. Este método resulta en una disminución sustancial del costo del inventario forestal (Aldana, 2008). A su vez, de acuerdo al trabajo realizado por Ferreira et al. (2001), el modelo semilogarítmico fue

el que más se aproximó a la tendencia de los datos observados para *E. grandis* en el Estado de Sao Paulo.

El crecimiento de las especies forestales se mide a partir de datos dasométricos relacionados a las variables de DAP y H_t , las cuales generalmente están asociados con el sitio y la edad de los individuos. El rango de variación de estas variables se relaciona con su crecimiento en sus áreas de distribución geográfica natural, y son utilizados para analizar la plasticidad, y la adaptación local teniendo en cuenta el objetivo de introducción que tenga el cultivo y también bajo diferentes regímenes silvícolas (Sorrentino, 2010). De acuerdo a Wang (1998), una forma de determinar la calidad de un sitio es midiendo la altura de los árboles dominantes y/o codominantes de un rodal a una edad de referencia predeterminada, así como determinando una ecuación que relacione dicha altura con una edad específica. Debido a la baja utilidad de esta relación, ya que para que esta ocurra se necesita un rodal puro, coetáneo y en muchos casos de edad avanzada, se utiliza la relación de la altura con la del DAP, la cual se asocia con un incremento en la productividad de un sitio (Wang, 1998).

El modelo de regresión lineal simple expresa la relación entre dos variables (una independiente y otra dependiente). El coeficiente de determinación (R^2) medida de evaluación para el ajuste de modelos, explica cuánto de la variabilidad de la variable dependiente Y puede ser explicada por su relación con la variable independiente X . El R^2 toma valores entre 0 y 1. Cuanto más cercano a 1 sea el coeficiente, el modelo ajustado es más confiable para ser utilizado en futuras previsiones, mientras que cuanto más se aproxime a 0, indica una baja precisión (Ferreira et al., 2001; Novales, 2010).

La prueba de Shapiro-Wilks se emplea cuando la muestra tiene un tamaño no mayor a 50. Esta prueba plantea la hipótesis nula (H_0) de que el modelo tiene una distribución normal y la hipótesis alternativa (H_1) de que la distribución no es normal. Determinando un nivel de significancia de 0,05, si el valor de probabilidad obtenido es superior a éste, no se rechaza la hipótesis nula, asumiendo que la distribución es normal (Yazici & Yolacan, 2007).

La prueba de Breusch-Pagan es un método eficiente para determinar si hay o no heterocedasticidad en el modelo de regresión. Esta prueba plantea la hipótesis nula (H_0) de que la homocedasticidad está presente y la hipótesis alternativa (H_1) de que la heterocedasticidad está presente. Cuando el p-valor de la prueba es mayor que el nivel de significancia de 0,05, no se rechaza la hipótesis nula, y los residuos se distribuyen con la misma varianza (Novales, 2010).

De acuerdo a Flores y Flores (2021) existe una dependencia de que se cumpla el supuesto de normalidad para varios procesamientos estadísticos (como los modelos de regresión) y test de hipótesis paramétricas, a modo de garantizar la eficiencia y capacidad predictiva de los mismos.

El supuesto de homocedasticidad es importante también para la predicción de los valores resultantes del modelo de regresión utilizado. La homocedasticidad se cumple cuando los errores de una variable (x) tienen varianza constante (Sánchez, 2022).

En Uruguay existen trabajos relacionados al rendimiento de algunas especies utilizadas en la producción forestal como por ejemplo el procesamiento de los datos del Primer Inventario Nacional Forestal, realizado por Sorrentino en 1990, el cual contempla tres especies de *Eucalyptus* y cuatro especies de *Pinus*. Se

encuentra una caracterización botánica de las especies del género *Quercus* presentes en el *Arboretum* Lussich ubicado en Maldonado, realizada por Ross (1964). En la región, se cita el estudio de López y Vera Bravo (2018) sobre *Corymbia maculata* en Argentina.

Un ejemplo claro relacionado a la evaluación del sitio son los trabajos realizados luego de realizar ensayos con algunas especies de pinos provenientes de Norteamérica, basados en los resultados alentadores obtenidos por Krall (1970a) para la introducción de especies como *P. taeda* y *P. elliotii*, ya que ambas especies presentaron una adaptación, vigor y sanidad buenos en las condiciones ambientales de nuestro país. Se puede destacar que otra especie evaluada, *P. radiata*, ya introducida y cultivada en Uruguay para ese entonces, comenzó a mostrar ciertos problemas sanitarios, tales como ataques de insectos y hongos, que desalentaron los esfuerzos para la continuación de nuevos ensayos de evaluación como especie de calidad para su producción en el país.

Para la gestión forestal de los datos relevados a campo los SIG son de gran importancia. Un SIG es una herramienta informática que integra tecnología, personas e información geográfica cuyo principal objetivo es analizar, almacenar, manipular y representar datos georreferenciados para la toma de decisiones. Dicho sistema permite integrar un mismo mapa diversas capas que representan diferentes elementos de la realidad (Olaya, 2014).

De acuerdo a Sorrentino (1997), se realiza un censo cuando la población es pequeña o finita, evaluando cada uno de los individuos que la componen. El inventario, como primer paso para mejorar la investigación científica, detalla la información de las plantas de la colección y su ubicación geográfica (Damery et al.,

2011), permitiendo la realización de planes de gestión y conservación de los recursos a largo plazo (Lee et al., 2014). La utilización de sistemas de información geográfica (SIG) presenta la ventaja de que, además de contar con los mapas, se cuenta con una base de datos con información valiosa (Burke & Morgan, 2009). Al ubicar los árboles aislados o asociados a otros, se logran datos comparativos de las especies en cuanto a la plasticidad fenotípica de ellas al ser expuestas a condiciones ambientales distintas (Dosmann, 2007).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

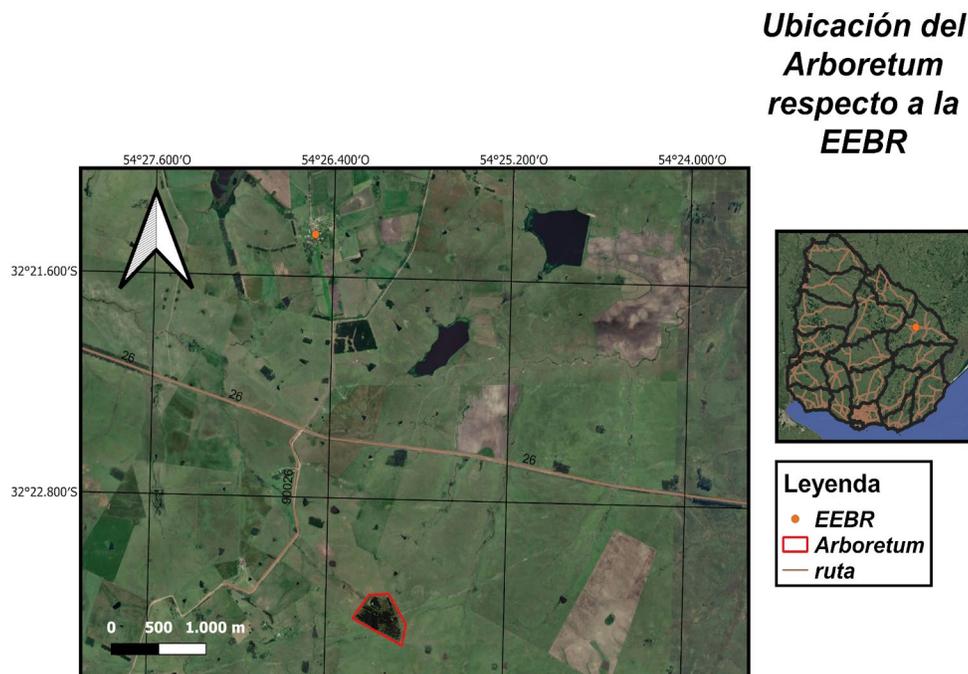
4.1 MATERIALES

4.1.1 Ubicación geográfica del *Arboretum*

Utilizando la herramienta web de QGIS se elaboró un mapa que muestra la ubicación del *Arboretum*, la distancia del mismo respecto a la sede de la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt, y un mapa de ubicación que muestra su localización geográfica en Uruguay. La EEBR cuenta con campos a ambos lados de la ruta 26. El *Arboretum* se ubica aproximadamente a 4 km de la sede central de la EEBR y a 3 km de la ruta 26 sobre el camino vecinal o ruta terciaria número 90026 (Figura 2).

Figura 2

Ubicación del Arboretum respecto a la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurt (EEBR)



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

4.1.2 Toma de datos

El relevamiento de datos de campo y su posterior análisis se realizó utilizando un conjunto de aplicaciones para la manipulación de datos con sistema de información geográfico (SIG). Para la toma de datos a campo se utilizó la aplicación para teléfonos celulares de uso libre Qfield que permite trabajar con proyectos creados en QGIS. En la misma se incluyó la ubicación de los individuos muestreados mediante georreferenciación y sus atributos, como la numeración de cada individuo (para identificación y conteo de individuos totales); nombre científico de la especie o niveles taxonómicos menores (subespecies o variedades), y cinta métrica para la medida de la circunferencia a la altura del pecho (CAP), así como también el hipsómetro digital Haglöf EC II D-R (Haglöf, Långsele, Sweden) para la medición de la altura de los árboles. Durante las recorridas los mismos datos recolectados en la aplicación Qfield fueron registrados en simultáneo mediante planillas de campo para mantener un respaldo de la información.

En la identificación de especies presentes en el *Arboretum* se utilizó material bibliográfico de bibliografía recomendada según el grupo de plantas. Para la realización de este trabajo se utilizó QGIS, una aplicación profesional SIG de software libre y de código abierto.

4.2 MÉTODOS

El trabajo de campo fue realizado en dos periodos de tiempo distintos debido a la pandemia provocada por el Covid-19. La primera etapa se llevó a cabo en el mes de agosto del año 2021 y la segunda etapa en abril del año 2022. En este trabajo se censaron todos los individuos correspondientes a especies leñosas en el área del *Arboretum* (aproximadamente 14 ha), incluyendo especies exóticas plantadas y

regeneradas, así como especies nativas, siempre y cuando cumplieren con las condiciones de medición de diámetro y altura.

Se realizó la identificación de la especie de cada individuo presente en el *Arboretum* a campo, tomando la medida de la circunferencia a la altura del pecho de cada árbol (CAP en cm). Durante la primera etapa, se identificó y registró una parte de la totalidad de los individuos, mientras que durante la segunda etapa (2022) además de la identificación de la especie y medición de la CAP de los árboles restantes, se determinó la altura total (H_t en m) de una muestra de individuos para un subconjunto seleccionado de especies.

El análisis de la composición botánica del *Arboretum*, la descripción del sitio, así como la estructuración etaria-diamétrica por especie y la relación con las alturas por clase diamétrica, permite tomar decisiones de gestión del área, así como realizar el seguimiento del comportamiento y la evaluación de los rodales o las poblaciones en general.

4.2.1 Medición de diámetro

En el caso particular de este trabajo, el instrumento elegido para la medición del grosor de los árboles o circunferencia a la altura del pecho (CAP) fue la cinta métrica, debido a la facilidad de su uso y a la comodidad de su transporte.

Para este trabajo se incluyeron en el censo todos los individuos o tallos (para grupos de árboles con régimen silvícola tallar) con DAP mayor o igual a 5 cm (equivalencia en CAP medido con cinta métrica). Para el análisis posterior se realizó la transformación de los datos de CAP a DAP mediante las relaciones de equivalencia entre ambas variables, diámetros y circunferencias, donde:

$$\text{CAP} = \text{DAP} \times \text{Pi}$$

4.2.2 Mediciones de altura

El instrumento utilizado para la medición de la altura total de los árboles en este trabajo fue el hipsómetro de Haglöf.

En el caso de este parámetro no se midieron la totalidad de los individuos, sino que se realizó un muestreo con las siguientes pautas:

1. Se seleccionaron todos los árboles con diámetro dejando únicamente estos individuos en la base de datos.

2. Se realizó un conteo de los individuos por especie con una tabla dinámica en una hoja de cálculo.

3. Se ordenaron las especies de acuerdo a la frecuencia de aparición

4. Luego se realizó una selección de las especies a medir, utilizando como criterio una frecuencia acumulada del 90 % de los individuos presentes en el *Arboretum*.

5. Se propuso medir la altura del 10 % de los individuos de las especies seleccionadas.

6. Se realizó el análisis de la frecuencia de individuos en base a las clases de circunferencia.

7. El número de árboles a medir fue definido en función de esta información: Cuando el valor calculado fue 0, o se propuso medir un individuo de la clase de circunferencia debajo de esta situación.

Cabe destacar que para la altura se realizó un muestreo y no un censo debido a la imposibilidad práctica de tomar todos los datos de la población.

Para el ajuste de los modelos hipsométricos, se consideraron modelos de regresión lineal simple que vinculan el logaritmo natural del DAP como variable independiente y la H_i como variable dependiente. Se corroboraron los supuestos de homogeneidad de varianza (prueba de Breusch-Pagan) y normalidad de los residuales (test de Shapiro-Wilks). Como medida de evaluación del ajuste de los modelos se utilizó el coeficiente de determinación (R^2). Los análisis estadísticos fueron realizados en el software R (versión 4.0.3, R *Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria).

Una vez cargados los datos obtenidos a campo en el software QGIS se procedió al procesamiento de la información, a través de la elaboración de gráficos, tablas y mapas para observar y analizar los resultados.

Para describir la composición de una comunidad en particular se pueden utilizar las variables riqueza y diversidad de especies. La riqueza de especies se refiere al número de especies distintas presentes en una comunidad. En términos generales las comunidades con mayor riqueza se encuentran en zonas próximas al ecuador, mientras que las comunidades con menor riqueza se encuentran hacia las regiones polares. La abundancia de especies refiere a su densidad o frecuencia de aparición (Álvarez et al., 2004).

Los datos recabados a campo luego se utilizaron para analizar la composición botánica de la masa forestal presente en el *Arboretum*, así como también para elaborar agrupaciones pertinentes por familia, género, especie, distribución natural de la especie y su origen (exótico o nativo), número de individuos,

DAP y altura (cuando corresponda). Posteriormente se realizaron los análisis de riqueza de especies por familia, diversidad de especies por familia y riqueza de especies por género.

A pesar de que el CAP fue medido en todos los individuos censados, para la medición de la altura se debió utilizar una muestra de las especies más representativas en cuanto a número de individuos, debido a la imposibilidad práctica de tomar dicho dato de todos los árboles presentes en el *Arboretum*. A su vez éste dato se utilizó para estudiar la relación con el diámetro a la altura del pecho, realizando un análisis de regresión, así como también dos pruebas estadísticas convenientes.

5. RESULTADOS

Con la ubicación geográfica de cada tallo cargada a campo en el programa Qfield y la imagen satelital del *Arboretum* descargada del mosaico de fotos aéreas del geoportal de la IDE (Infraestructura de datos espaciales de Uruguay), se logró elaborar una serie de mapas en el programa QGIS.

La georreferenciación de los datos permitió analizar de forma espacial la distribución de los mismos y el análisis, tanto de la estructura según el régimen, como la composición botánica asociada a la abundancia, riqueza y distribuciones geográficas naturales de la población censada, así como los análisis de crecimiento realizados para una muestra seleccionada.

Si bien se censaron todas las especies leñosas encontradas en el área del *Arboretum* incluyendo las nativas, con un mínimo de DAP preestablecido, los datos analizados se presentan de forma discriminada entre especies exóticas cultivadas y especies nativas, especificándose en el texto cuando se requiere.

5.1 ANÁLISIS GENERAL DE LA ESTRUCTURA

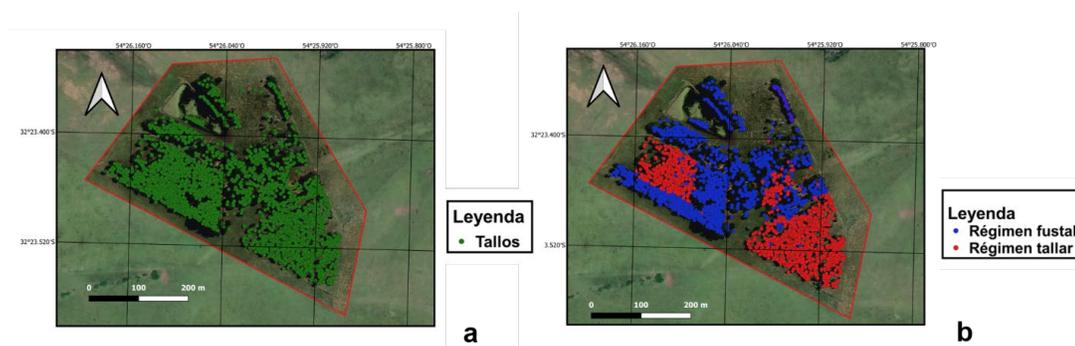
Se identificaron 4.210 tallos, de 2.786 individuos pertenecientes a 51 especies 44 cultivadas y siete nativas (ver Anexo A), que se distribuyen en 23 géneros (dieciséis exóticos y siete nativos) y 18 familias botánicas (once exóticas y siete nativas). Se lograron diferenciar rodales de régimen fustal, así como también de régimen tallar. Éstos últimos se componen de dos especies separadas espacialmente: *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus amplifolia*. Los tallos contabilizados bajo este régimen silvícola representan algo más del 50 % del total de tallos censados, tanto en número como en superficie (Figura 3).

Los individuos de la especie *E. tereticornis* que se encuentran agrupados en dos rodales fueron cosechados en los años 2005 y 2008 (L. Gallo, comunicación personal, 2023), y al no recibir ningún tipo de tratamiento silvícola, se convirtieron en un régimen tallar. Muchas de las cepas de estos rodales contienen diversos tallos, los cuales se censaron por separado, por lo que el número de tallos registrados fue drásticamente mayor en comparación con las demás especies. En este caso para *E. tereticornis* se registraron un total de 1.048 individuos y 2.079 tallos. Algo similar sucede con los individuos de la especie *E. amplifolia*, que está compuesta por un total de 75 individuos y 116 tallos, aunque no se encontró información sobre la fecha en la cual se produjo su cosecha.

Si sólo observamos el régimen silvícola de las especies exóticas cultivadas, el total de tallos censados en el *Arboretum* fue de 4.210 (Figura 3a), con distribución de las diferentes masas forestales bajo régimen tallar (2.195) y bajo régimen fustal (2.015) (Figura 3b).

Figura 3

Total de tallos censados en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa con la letra a – Distribución de tallos (puntos verdes); mapa con la letra b – Régimen silvícola (puntos azules fustal; puntos rojos tallar). Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

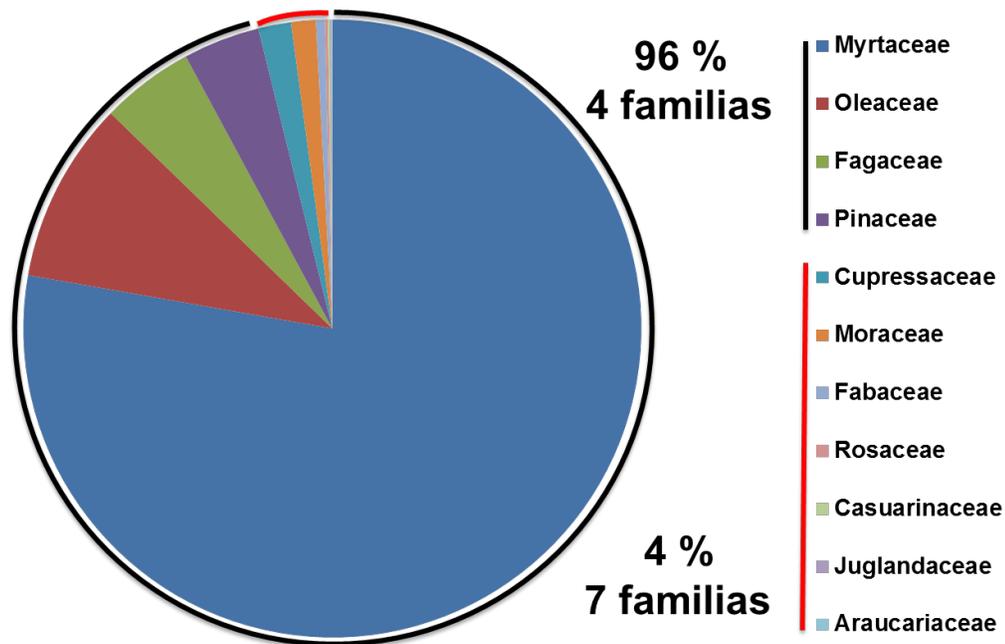
5.2 ANÁLISIS DE ABUNDANCIA

5.2.1 Familias

Aproximadamente el 96 % de los individuos se encuentran dentro de las familias Myrtaceae, Oleaceae, Fagaceae y Pinaceae, en orden de mayor a menor número de individuos, mientras que el 4 % restante se compone de las restantes siete familias. De las once familias cultivadas presentes en el *Arboretum*, la mayor proporción de los individuos corresponde a la familia Myrtaceae (77,8 %), con un total de 1.997, siendo el 22,2 % restante constituido por las demás diez familias (Figura 4).

Figura 4

Proporción de los individuos cultivados presentes por familia en el Arboretum de la EEBR



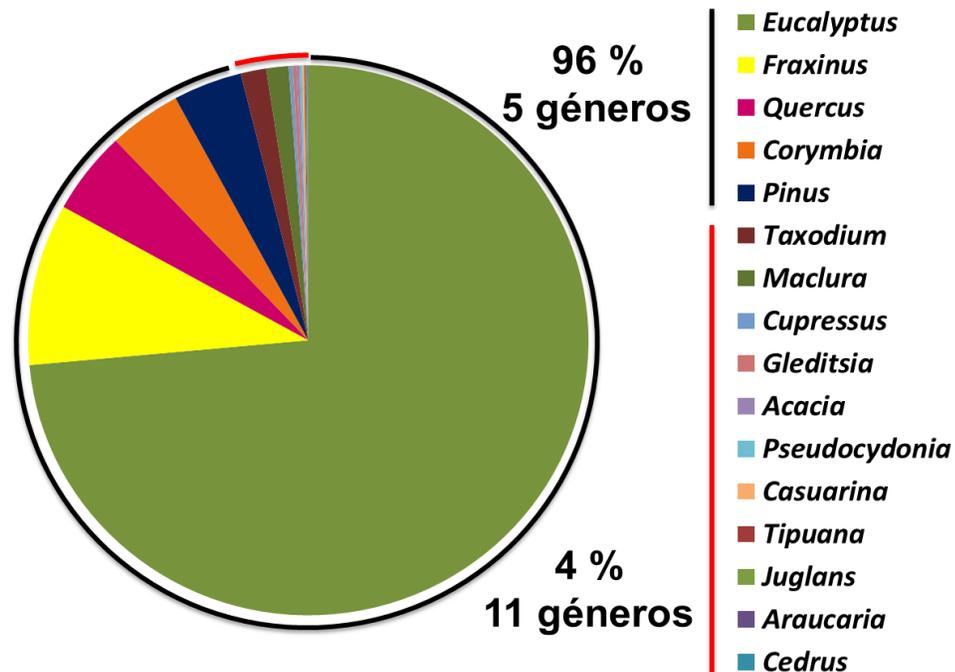
5.2.2 Géneros cultivados

De los 23 géneros identificados, 16 fueron plantados. El 96 % de los individuos se encuentra concentrado dentro de cinco géneros, de origen exótico, siendo estos: *Eucalyptus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Corymbia* y *Pinus* (Figuras 5).

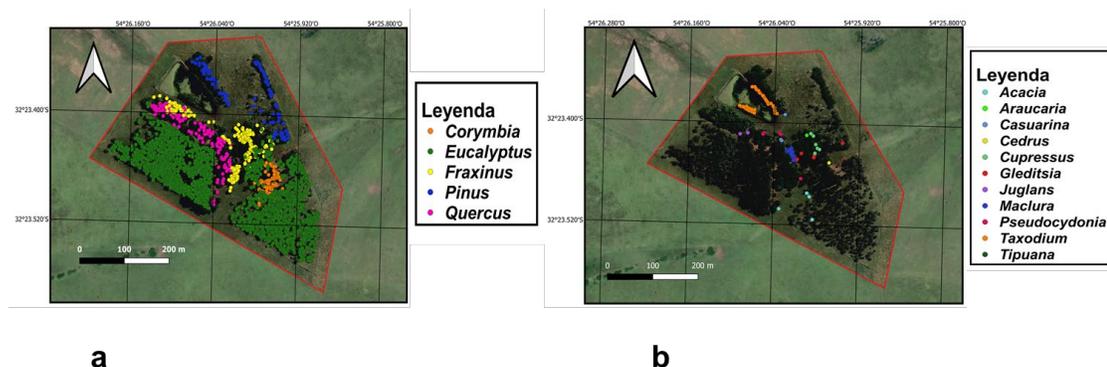
Existe cierta regionalización en la distribución de los géneros cultivados en el *Arboretum* ya que a grandes rasgos si se observa la vista aérea del *Arboretum* desde el sur hacia el norte, aparecen primero los eucaliptos, luego los robles, seguido de los fresnos y por último los pinos (Figuras 6 **a-**). También se aprecia cierta agrupación en la distribución de los restantes 11 géneros exóticos cultivados, asociadas a los bordes de las masas forestales correspondientes a los géneros con mayor representación (Figura 6 **b-**).

Figura 5

Proporción del número de individuos por género en el Arboretum de la EEBR

**Figura 6**

Distribución de los géneros exóticos en el Arboretum de la EEBR



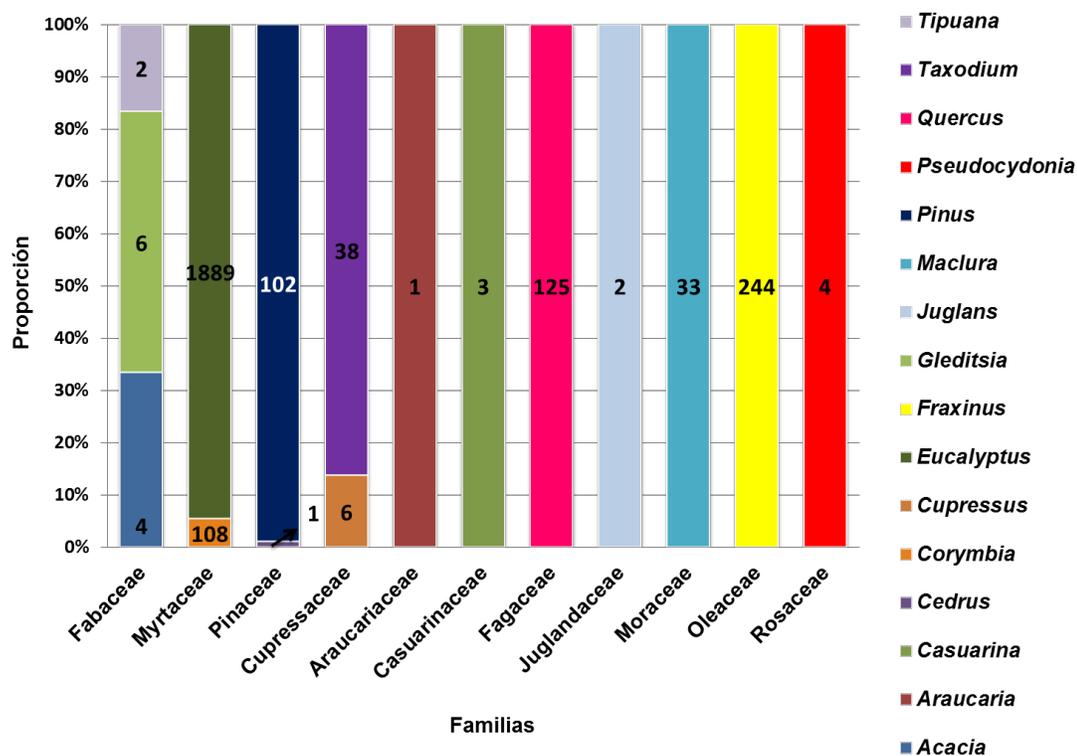
Nota. Mapa con la letra a - Géneros cultivados que representan el 96 % de los individuos; mapa con la letra b - Géneros cultivados que representan el 4 % de los individuos. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

La familia Myrtaceae es la más abundante con un total de 1.997 individuos, los cuales se distribuyen en dos géneros, *Eucalyptus* (1.889 individuos) y *Corymbia* (108 individuos). La familia Oleaceae es la siguiente en términos de abundancia con un total de 244 ejemplares, los cuales se distribuyen en un único género, *Fraxinus*.

Se observa que, mientras en las familias con dos géneros (Myrtaceae y Pinaceae), en uno de ellos se supera el 90 % del total de los individuos dentro de cada familia, en la que contiene tres géneros (Fabaceae), estos se distribuyen de forma más homogénea en cuanto al número de individuos (Figura 7).

Figura 7

Abundancia de individuos por género y familia en el Arboretum de la EEBR



Nota. Número de individuos por género representado en el centro de las barras.

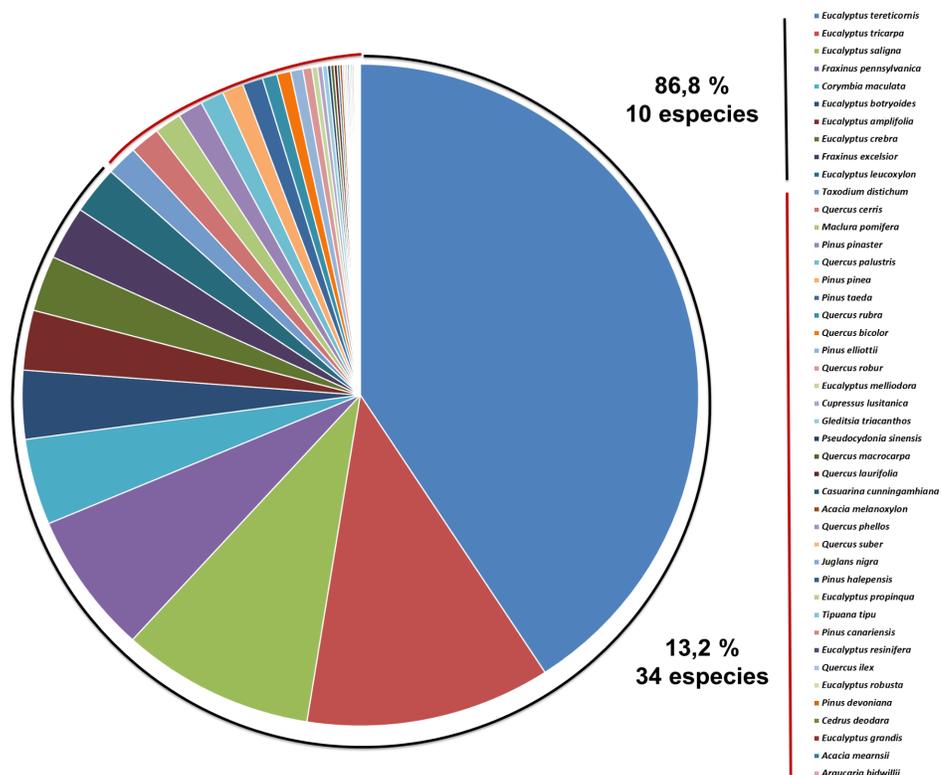
Se observa que la familia Fabaceae contiene tres géneros distribuidos de forma homogénea en cuanto al número de individuos. Sin embargo, las familias Myrtaceae y Pinaceae que contienen dos géneros cada una, tienen uno que supera ampliamente el 90 % del total de individuos dentro de cada familia. Un caso menos extremo es de la familia Cupressaceae, en la que uno de los dos géneros que la componen (*Taxodium*) representa el 86 % del total de individuos dentro de la familia. Las demás siete familias tienen un sólo género que representa la totalidad de los individuos dentro de cada una (Figura 7).

5.2.3 Especies cultivadas

De las 44 especies cultivadas en el *Arboretum* (ver Anexo B), diez representan el 86,8 % del total, mientras que las 34 especies restantes representan el 13,2 % (Figura 8).

Figura 8

Proporción de individuos por especie cultivada en el Arboretum de la EEBR



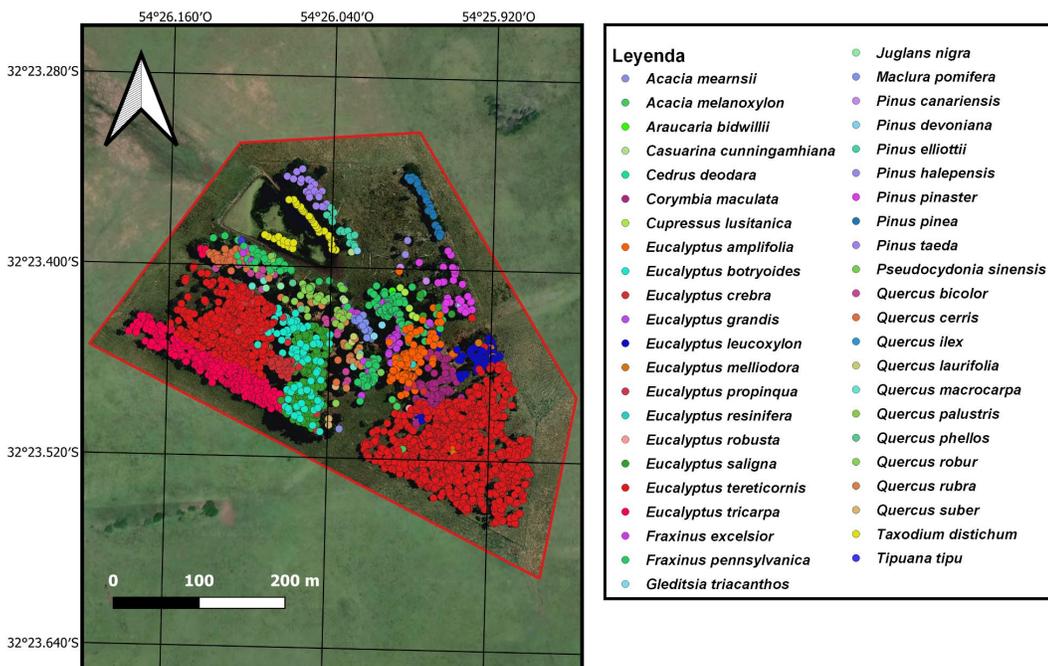
La especie que presenta el mayor número de individuos es *Eucalyptus tereticornis*, con un total de 1.048, seguida por *Eucalyptus tricarpa* (301) y *Eucalyptus saligna* (237), los cuales representan el 61,8 % del total de individuos cultivados. Estas tres especies son exóticas, y pertenecen a una única familia y género (*Eucalyptus*). Las especies relevadas con menor cantidad de individuos son: *Eucalyptus resinifera*, *Eucalyptus grandis*, *Cedrus deodara*, *Quercus ilex*, *Acacia mearnsii*, *Pinus devoniana* y *Araucaria bidwillii*, todas están representadas por un único individuo por especie (Figura 8).

En relación a la distribución espacial, las especies se encuentran de forma agrupada, combinadas o dispersas, según familias botánicas y características del sitio (Figura 9).

Figura 9

Ubicación de las especies cultivadas presentes en el Arboretum de la EEBR

Especies cultivadas



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

La especie *E. tereticornis*, además de ser la que ocupa la mayor proporción del espacio, se encuentra agrupada en dos zonas. La misma agrupación de todos los individuos sucede con especies como *E. tricarpa*, *Taxodium distichum*, *Maclura pomifera*, *Pinus pinea* y *Corymbia maculata* entre otras. Esto no sucede con especies como *E. saligna* y *E. botryoides* o *Fraxinus excelsior* y *Fraxinus pennsylvanica*, las cuales aparecen combinadas. Sí se aprecia cierta agrupación de las especies por género, por ejemplo, todas las especies del género *Quercus* se ubican entre los individuos de *E. tereticornis* y el tamar (Figura 9).

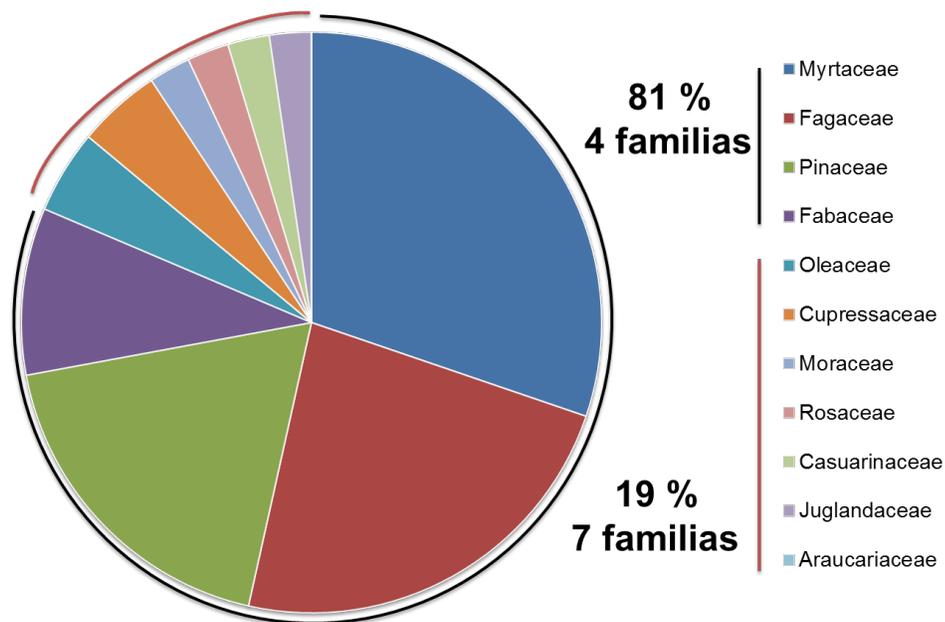
5.3 ANÁLISIS DE RIQUEZA

5.3.1 Familias

El *Arboretum* presenta una riqueza de once familias cultivadas, siendo el valor de mayor riqueza específica representado por las familias Myrtaceae, Fagaceae y Pinaceae con 13, 10 y 8 especies, respectivamente (Figura 10).

Figura 10

Riqueza de especies cultivadas por familia botánica en el Arboretum de la EEBR

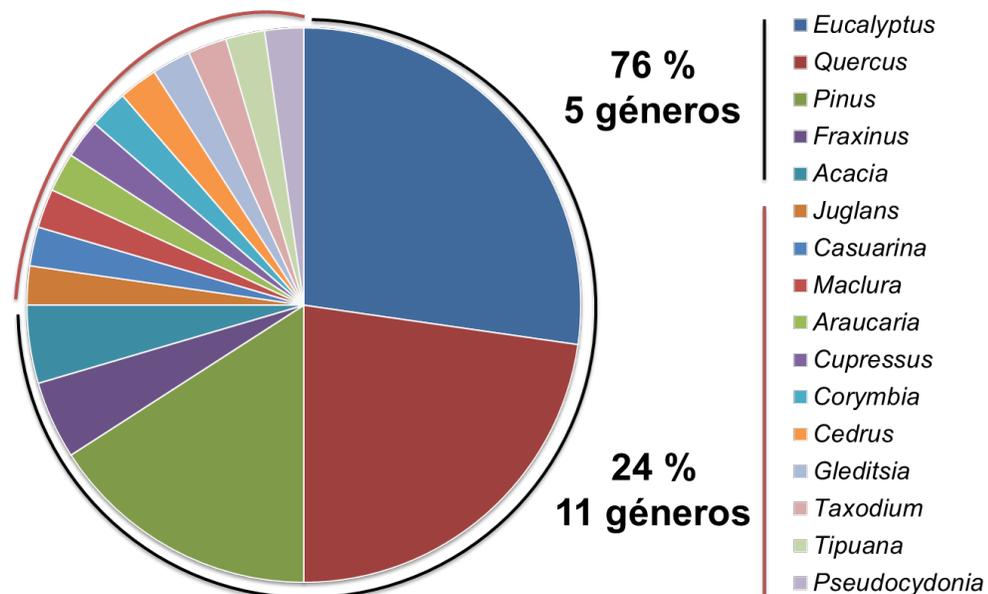


5.3.2 Géneros cultivados

En el *Arboretum* existe una riqueza específica representada por un total de 44 especies cultivadas comprendidas dentro de 16 géneros. Siendo casi el 76 % del total de especies pertenecientes a los géneros *Eucalyptus* (doce especies), *Quercus* (diez especies), *Pinus* (siete especies), *Fraxinus* (dos especies) y *Acacia* (dos especies) (Figura 11).

Figura 11

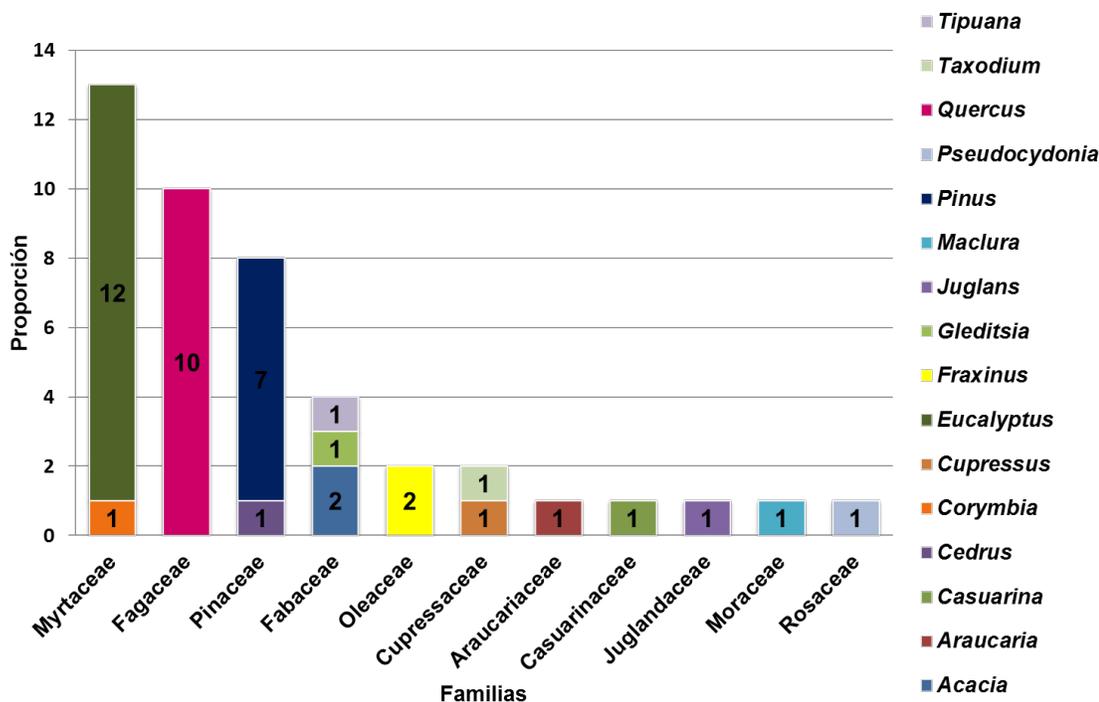
Riqueza de especies cultivadas por géneros en el Arboretum de la EEBR



Es posible comparar la riqueza de géneros de las once familias presentes en el *Arboretum*, tanto en número como en proporción. La familia Fabaceae tiene tres géneros, aportando la mayor riqueza de géneros (*Tipuana*, *Acacia* y *Gleditsia*), seguida por Myrtaceae (*Eucalyptus* y *Corymbia*), Pinaceae (*Pinus* y *Cedrus*) y Cupressaceae (*Cupressus* y *Taxodium*), con dos géneros cada una. Las restantes siete familias se componen solamente de un género cada una (Figura 12).

Figura 12

Riqueza de géneros y especies cultivadas por familia botánica en el Arboretum de la EEER



Nota. Número de especies por género representado en el centro de la barra.

De las familias que contienen más de un género y más de una especie, se puede observar que proporcionalmente el número de especies en Myrtaceae es menor al 10 %, mientras que en Pinaceae supera ese valor y en Fabaceae es bastante más homogénea la distribución de especies dentro de la familia (Figura 12).

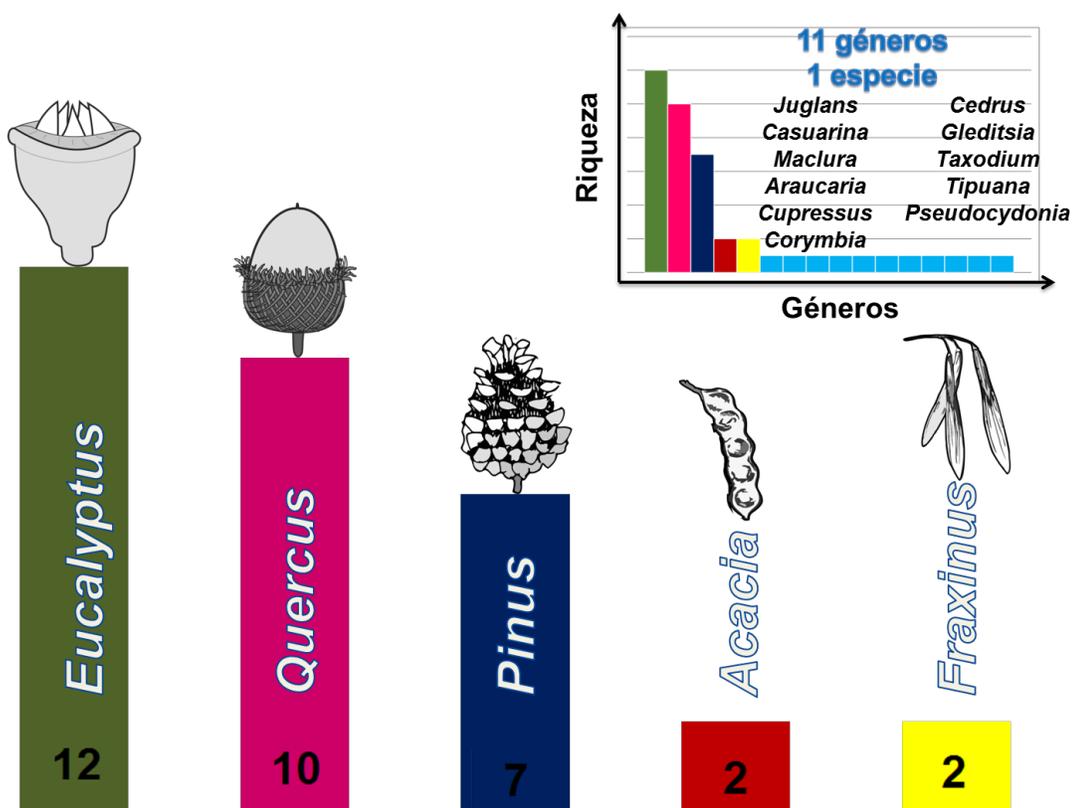
5.3.2.1 Géneros con mayor riqueza de especies

Los géneros con mayor riqueza de especies son *Eucalyptus* (ver Anexo C), *Quercus* (ver Anexo D), *Pinus* (ver Anexo E), *Acacia* (ver Anexo F) y *Fraxinus* (ver Anexo G). Estos cinco géneros concentran el 75 % de las especies, mientras que los once géneros restantes concentran el 25 % de las especies. El género *Eucalyptus* está distribuido en doce especies y representa el 27,3 % del total de especies

cultivadas. El segundo género en términos de riqueza es *Quercus*, con un total de diez especies, representando el 22,7 % del total. El género *Pinus*, cuenta con un total de siete especies y representa el 15,9 % del total. Tanto *Acacia* como *Fraxinus* componen, cada uno, el 4,5 % del total de especies cultivadas. Por otra parte, los once géneros que componen el 25 % de las especies, están compuestos por una sola especie cada uno (Figura 13).

Figura 13

Géneros con mayor riqueza de especies y géneros con una sola especie representada en el Arboretum de la EEBR



5.3.2.2 Análisis comparativo entre abundancia y riqueza

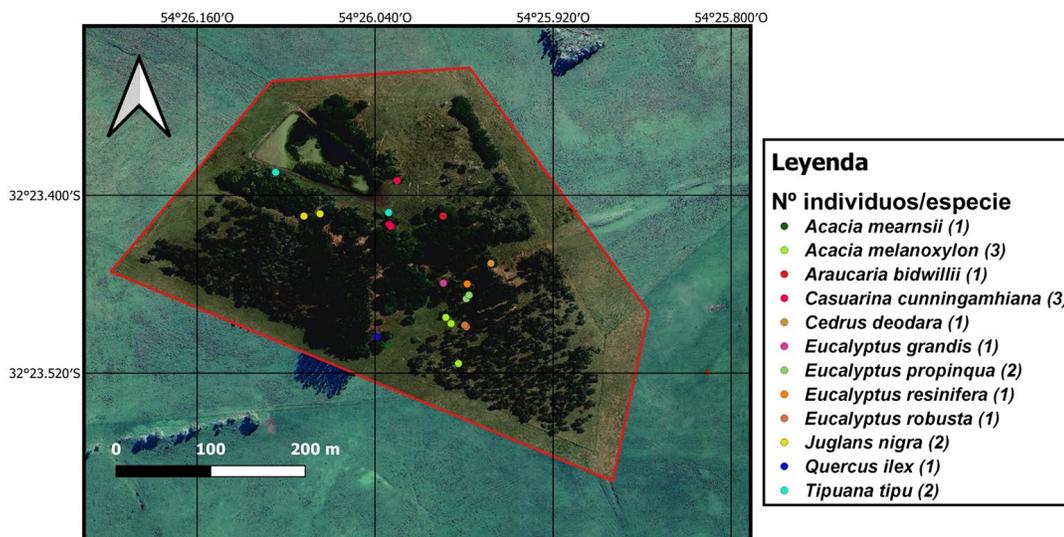
Del análisis de riqueza y abundancia, cabe destacar que existen especies como *Cedrus deodara*, *Araucaria bidwillii* y *Juglans nigra*, que están representadas por un individuo, las dos primeras especies y dos individuos la última, y si fuesen

afectadas (por ejemplo, por tala, muerte o enfermedad, etc.) de alguna manera, se perdería no solo la especie, sino el género (*Cedrus*, *Araucaria* y *Juglans*). Además, en el caso particular de la araucaria también se perdería la familia (Araucariaceae), lo cual representaría una disminución importante a la riqueza de familias del *Arboretum*.

Por otra parte, existen otras especies, como *Pinus devoniana*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus resinifera*, *Quercus ilex* y *Acacia mearnsii*, que también están representadas por un solo individuo, pero si se perdieran esos individuos, la riqueza de especies disminuiría, aunque no afectaría la riqueza de géneros, ya que estarían representados por otras especies con un mayor número de individuos. Los individuos de las especies que presentan dos o tres individuos se distribuyen de forma relativamente agrupada en el espacio, con excepción de los dos ejemplares de *Tipuana tipu* que están más alejados uno de otro (Figura 14).

Figura 14

Distribución de las especies con bajo número de individuos en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

5.4 ANÁLISIS DE DIVERSIDAD DE NATIVAS

Las especies nativas se registraron a modo de conocer su distribución dentro del *Arboretum* y se registró el DAP de aquellos individuos que se encontraban dentro del rango de mensura propuesto. Éstas crecieron de forma espontánea y como su presencia escapa al objetivo de la implantación del *Arboretum* en primera instancia, se analizaron los datos recabados de forma separada a la de las especies cultivadas.

Las leñosas nativas están representadas por 218 individuos de siete especies, con un total de 423 tallos registrados (Tabla 1).

Tabla 1

Número de individuos y tallos de los árboles nativos presentes según familia, género y especie

Familia	Género	Especie	N° de individuos (tallos)
Anacardiaceae	<i>Schinus</i>	<i>Schinus longifolius</i>	53 (78)
Berberidaceae	<i>Berberis</i>	<i>Berberis laurina</i>	23 (23)
Cannabaceae	<i>Celtis</i>	<i>Celtis ehrenbergiana</i>	92 (127)
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania</i>	<i>Sebastiania commersoniana</i>	23 (52)
Polygonaceae	<i>Ruprechtia</i>	<i>Ruprechtia salicifolia</i>	19 (110)
Rubiaceae	<i>Guettarda</i>	<i>Guettarda uruguensis</i>	5 (26)
Verbenaceae	<i>Citharexylum</i>	<i>Citharexylum montevidense</i>	3 (7)

Las siete especies nativas registradas crecieron de forma espontánea en el *Arboretum*, es decir no fueron plantadas, como se produjo con el restante de las especies exóticas presentes en el mismo. La diferencia observada entre el número de tallos y de individuos se debe al hábito arbustivo de la gran mayoría de las especies encontradas para este grupo de plantas, con varios ejemplares con diversas ramificaciones por debajo de la altura de registro del DAP (Tabla 1).

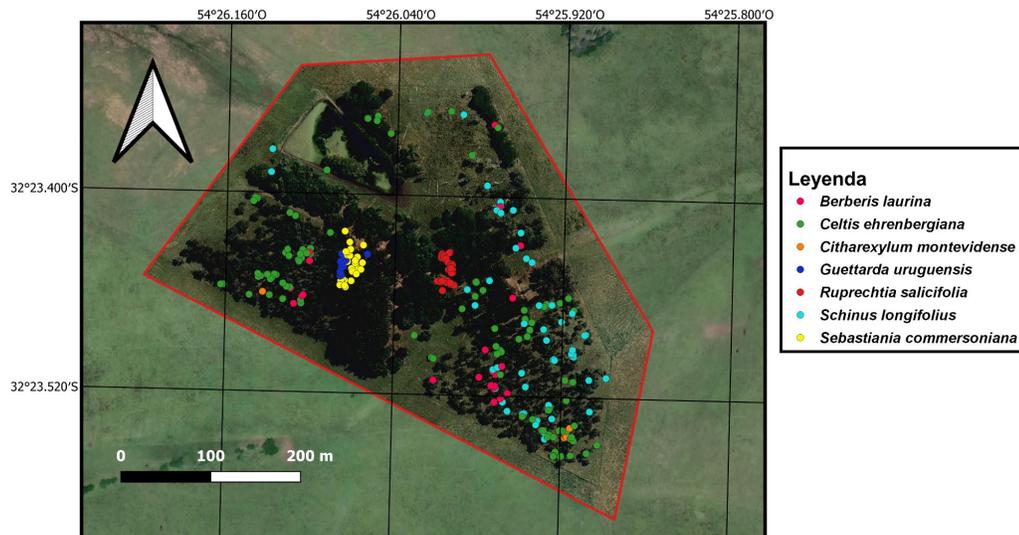
Se encuentran concentradas espacialmente las especies *Guettarda uruguensis* y *Sebastiania commersoniana* en la zona donde fueron plantados los *E. crebra*, *E. saligna* y *E. botryoides*. A su vez, *Ruprechtia salicifolia* se localiza

solamente en una zona inundable cercana al tajamar. Las otras cuatro especies se distribuyen de forma más homogénea dentro del *Arboretum* (Figura 15).

Figura 15

Distribución de las especies nativas presentes en el Arboretum de la EEER

Especies Nativas



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

5.5 REGIÓN GEOGRÁFICA DE ORIGEN

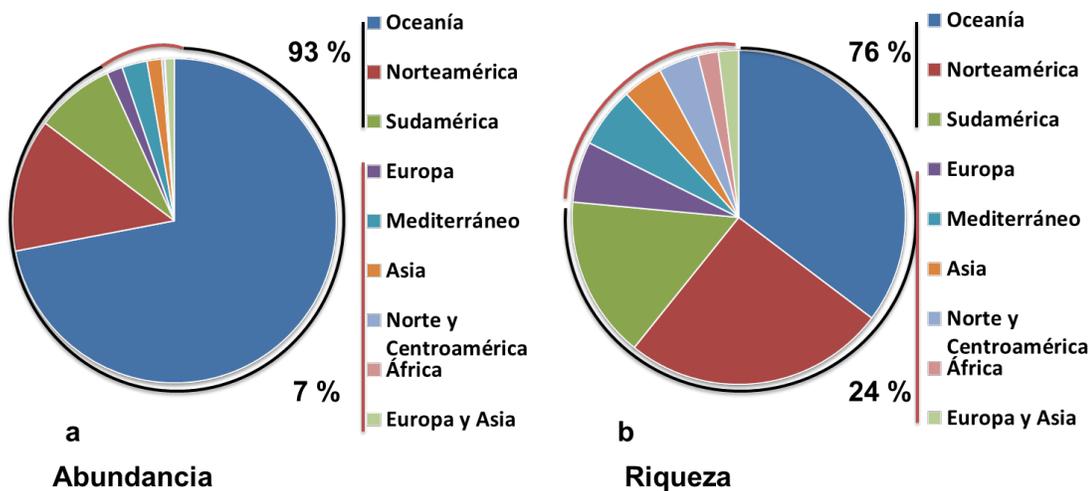
Se lograron diferenciar nueve regiones geográficas de origen de las especies encontradas en el *Arboretum*: África, Asia, Europa, Europa y Asia, Oceanía, Mediterráneo, Norteamérica, Norte y Centroamérica, y Sudamérica.

En términos de abundancia, del total de individuos registrados (2.786), el 72,0 % proviene de Oceanía, el 13,3 % de Norteamérica, el 7,9 % de Sudamérica, el

2,5 % del Mediterráneo, el 1,6 % de Europa, el 1,5 % de Asia, siendo las tres regiones restantes (Norte y Centroamérica, África, Europa y Asia) representadas por 1,3 % de los individuos (Figura 16 y 17).

Figura 16

Abundancia y Riqueza según región de origen en el Arboretum de la EEER



Nota. Mapa con la letra a- Distribución de especies según región de origen; mapa con la letra b- Distribución de géneros según región de origen.

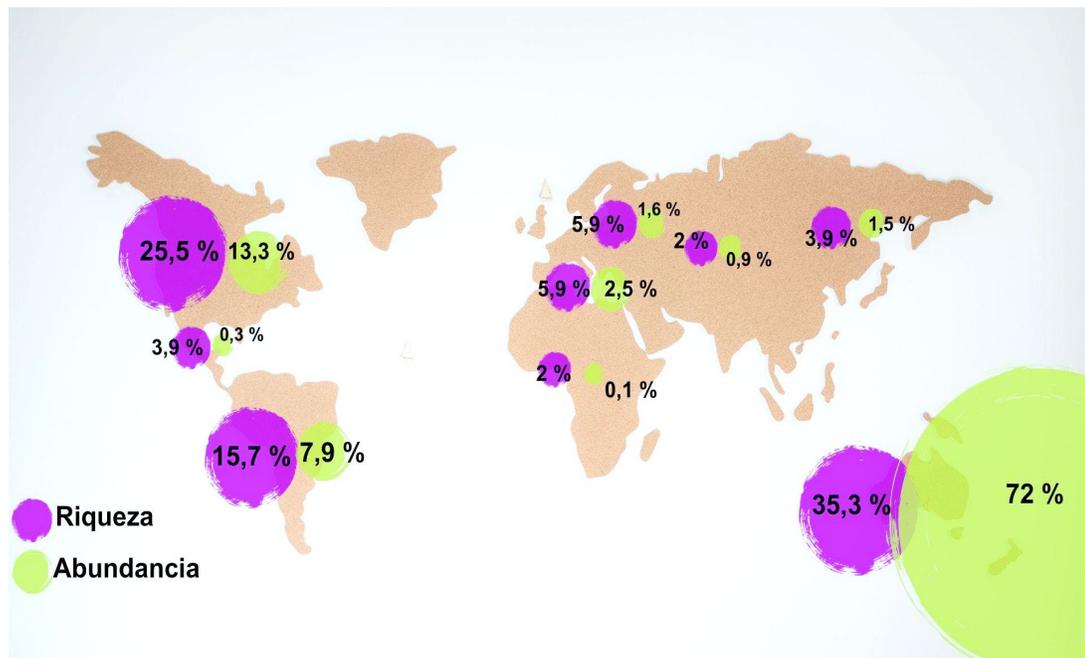
En términos de riqueza, de las 51 especies presentes en el *Arboretum*, el 60,8 % provienen de dos de las regiones diferenciadas, de Oceanía (35,3 %) y de Norteamérica (25,5 %). El 15,7 % de la totalidad de especies proviene de Sudamérica, siendo el aporte de especies nativas no plantadas del 13,7 % y el de la especie cultivada el 2,0 % (Figura 16 y 17).

La abundancia proveniente de Oceanía (2.006 individuos) es significativamente superior que la riqueza (18 especies), aunque éste sea el hemisferio con mayor proporción para ambas variables. En el caso de Norteamérica

y Sudamérica, la proporción de riqueza es mayor que la de abundancia, pero la diferencia entre ambas variables es bastante menor.

Figura 17

Proporción de abundancia y riqueza según región geográfica de origen presente en el Arboretum



En el único caso en que la abundancia es mayor a la riqueza en términos de proporción es en la región de Oceanía, ya que el género más abundante (*Eucalyptus*) supera por 1.781 individuos al segundo género más abundante (*Corymbia*) y la riqueza de esa región está representada por tan solo 4 géneros (*Eucalyptus*, *Corymbia*, *Acacia* y *Araucaria*) siendo *Eucalyptus* (1 género) el que aporta la mayor riqueza de especies (doce). (Figura 17).

Si se toman los cinco géneros que presentan mayor riqueza en cuanto al número de especies, se pueden observar algunas variantes en cuanto a su distribución natural. Las especies del género *Eucalyptus* se encuentran en su totalidad concentradas en la región de Oceanía, principalmente del sureste de Australia. El

género *Quercus*, con sus diez especies está representando cuatro regiones distintas: una especie de Asia, una del Mediterráneo, dos en Europa central y seis especies en Norteamérica. Dentro del género *Pinus*, hay una especie proveniente de África (Islas Canarias), una de Europa central, una del Mediterráneo, una de Europa y Asia, una del Norte y Centroamérica y dos especies provenientes de Norteamérica. Las dos especies de *Acacia* tienen como origen la región de Oceanía. En el caso del género *Fraxinus*, hay una especie originaria del Mediterráneo y otra de Norteamérica.

5.6 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO

El análisis de crecimiento se realizó de un subconjunto de árboles mediante criterios previamente definidos, tanto para DAP como para altura total. No se realizó la medición de la totalidad de individuos debido a la dificultad práctica y también porque escapa al objetivo que este trabajo abarca.

5.6.1 Análisis del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

Mediante los datos de circunferencia a la altura del pecho (CAP) medidos en el trabajo de campo de 4.121 tallos (3.768 exóticos y 353 nativos) y posteriormente transformados a diámetro a la altura del pecho (DAP), se analizó gráficamente la distribución de los datos, contabilizando los datos de valores mínimos, máximos y promedios de DAP (en cm), según los géneros de las especies encontradas en el *Arboretum*.

Cabe señalar que algunos géneros presentaron un valor mínimo de cero debido al método de mensura, en el que los tallos con menos de cinco cm CAP no fueron medidos, tales son los casos de tallos de los géneros exóticos como: *Acacia*, *Eucalyptus* y *Gleditsia*, y de los géneros de origen nativo como *Celtis* y *Schinus*. A su

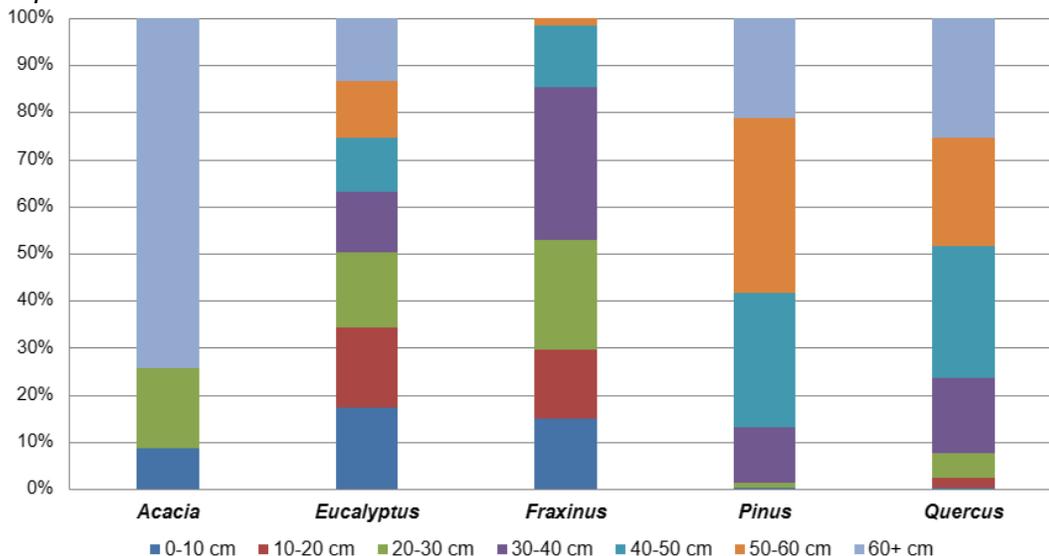
vez, se destaca como caso extremo el género nativo *Berberis*, donde no se contabilizó ningún tallo con más de cinco cm de CAP en ninguno de sus individuos.

El mayor valor mensurado se encontró en la familia Cupressaceae, sin embargo, en esta familia se contabilizaron solamente seis individuos del género *Cupressus*, por lo que fue su gran diámetro lo que intervino en este resultado. Por el contrario, la familia Myrtaceae que contó con el mayor número de tallos, tuvo un promedio de DAP de aproximadamente 20 cm (con un intervalo de entre 19,9 y 20,9 cm, con 95 % de confianza), debido justamente a los rebrotes de las cepas y su gran variabilidad de diámetros. Estas variaciones se debieron a la variable en sí (promedio/media) que se ve afectada por valores extremos.

Dentro de los géneros que presentan mayor riqueza específica, se pueden observar diferentes proporciones que presentan dentro de determinadas clases diamétricas. El género *Eucalyptus* presenta algo más de 10 % de los individuos en cada una de las siete clases de diámetro establecidas, siendo el género con mayor representación en todas las clases de diámetro. El género *Fraxinus* no contiene individuos con DAP mayores a 60 cm, *Pinus* presenta menos del 2 % individuos en los dos intervalos de DAP que comprenden individuos hasta 20 cm y *Quercus* no presenta siquiera el 1 % de sus individuos en el rango menor a 10 cm. El género *Acacia* es el menos diverso en cuanto a clases de DAP, pudiendo describirse sus individuos con tres de las siete clases establecidas (Figura 18).

Figura 18

Proporción de clases diamétricas en cm, según géneros con mayor riqueza de especies

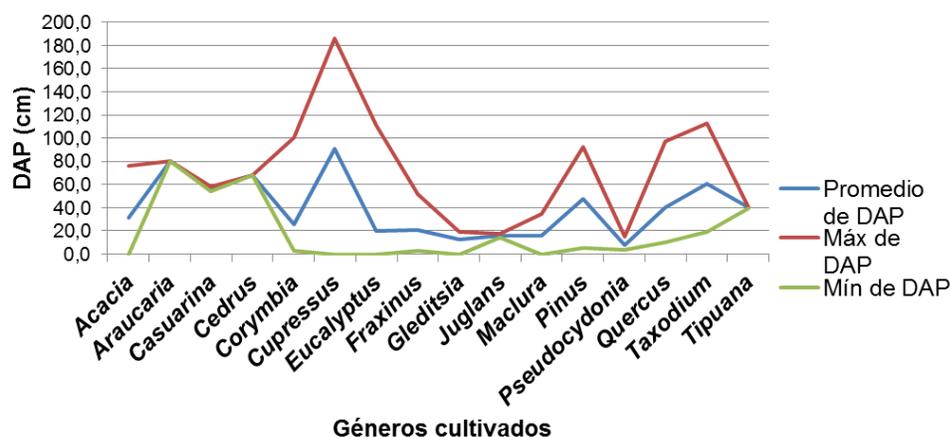


Dentro de Myrtaceae, en el género *Corymbia* se registró un mínimo de 3,2 cm y un valor máximo de 100,3 cm de DAP; mientras que en el género *Eucalyptus* obtuvieron registros mínimos de 2,2 cm y máximos de 111,4 cm de DAP.

Los valores más bajos de DAP (entre 2 y 4 cm) dentro de las especies de origen exótico se observaron en los géneros *Corymbia*, *Eucalyptus* y *Fraxinus*. El valor máximo de DAP se registró en un individuo de la especie *Cupressus lusitanica* con 186,2 cm. También se registraron valores elevados de DAP en individuos ubicados en zonas de borde, de las especies *Eucalyptus botryoides* (111,4 cm), *Eucalyptus crebra* (92,9 cm) y *Eucalyptus tricarpa* (69 cm). Se observan valores iguales en mínimo, máximo y promedio en los géneros comprendidos por una única especie y un solo individuo (*Araucaria* y *Cedrus*) (Figura 19).

Figura 19

Mínimo, máximo y promedio de DAP (cm) según género presente en el Arboretum de la EEBR



5.6.2 Análisis de Altura

Para el análisis de altura se seleccionaron ocho especies utilizando como criterio una frecuencia acumulada del 90 % de los individuos presentes en el *Arboretum*, por lo cual se propuso medir la altura del 10 % de los ejemplares de las especies seleccionadas, en las que se mensuró la altura total (m) de 212 individuos compuesto por entre 19 y 31 individuos por especie. A partir de los datos de H_t y DAP se realizaron los modelos hipsométricos para las poblaciones de árboles de esas especies en el *Arboretum*.

Los resultados obtenidos (Tabla 2) muestran el buen grado de ajuste de los modelos, cuyos valores de R^2 oscilaron entre 0,66 y 0,92 (siendo el R^2 más bajo para la especie *Eucalyptus tricarpa*, mientras que para las demás especies los valores son siempre superiores a 0,75). Todos los modelos ajustados cumplieron con los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianza (Tabla 2). En todos los casos, el uso de modelos semilogarítmicos explicó de forma eficiente la variación de la altura total (H_t) en función del DAP (Figura 20).

Tabla 2
Modelos hipsométricos y R² para las especies a las que se les midió la altura

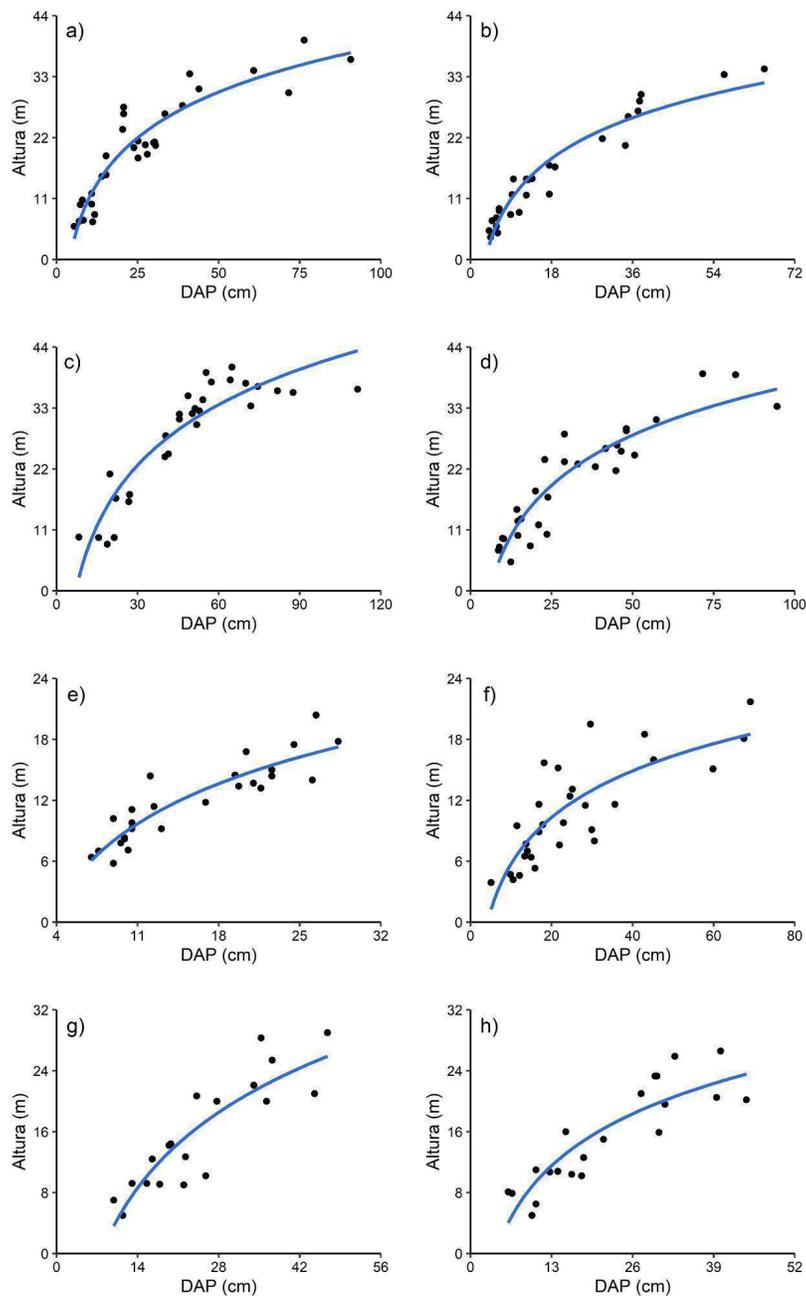
ID	Especie	Modelo	R ²	n
a	<i>Corymbia maculata</i>	$H_t = - 16,36 + 11,91 \times \text{Ln (DAP)}$	0,87	31
b	<i>Eucalyptus amplifolia</i>	$H_t = - 12,454 + 10,621 \times \text{Ln (DAP)}$	0,92	27
c	<i>Eucalyptus botryoides</i>	$H_t = - 30,862 + 15,747 \times \text{Ln (DAP)}$	0,83	29
d	<i>Eucalyptus saligna</i>	$H_t = - 23,011 + 13,069 \times \text{Ln (DAP)}$	0,85	30
e	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	$H_t = - 9,4859 + 8,0011 \times \text{Ln (DAP)}$	0,81	26
f	<i>Eucalyptus tricarpa</i>	$H_t = - 9,4792 + 6,6103 \times \text{Ln (DAP)}$	0,66	29
g	<i>Fraxinus excelsior</i>	$H_t = - 29,161 + 14,318 \times \text{Ln (DAP)}$	0,77	19
h	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	$H_t = - 13,645 + 9,822 \times \text{Ln (DAP)}$	0,77	21

Nota. ID: identificación del modelo; R²: coeficiente de determinación; n: número de observaciones; H_t: altura total; DAP: diámetro a la altura del pecho.

Se puede destacar que la altura mínima registrada corresponde a un individuo de *Eucalyptus tricarpa*, midiendo 3,9 m. Mientras que la altura máxima obtenida en las mediciones fue de 41,8 m de un ejemplar de *Eucalyptus botryoides*. Esto se explica por el crecimiento en diámetro de cada uno de ellos. Mientras el primero tiene 5 cm de DAP, el segundo tiene 56 cm de DAP.

Figura 20

Ajuste de modelos que vinculan DAP y Ht, para las especies a las que se les midió la altura



Nota. a: *Corymbia maculata*; b: *Eucalyptus amplifolia*; c: *Eucalyptus botryoides*; d: *Eucalyptus saligna*; e: *Eucalyptus tereticornis*; f: *Eucalyptus tricarpa*; g: *Fraxinus excelsior*; h: *Fraxinus pennsylvanica*.

Los resultados obtenidos en la tabla 3 muestran que para la totalidad de las especies bajo estudio no se rechaza la hipótesis nula (H_0) de que el modelo se distribuye de forma normal (test de Shapiro-Wilks), así como tampoco se rechaza la hipótesis nula (H_0) de que la homocedasticidad está presente, lo que significa que los residuos se distribuyen con la misma varianza en cada nivel de la variable predictora (prueba de Breusch-Pagan).

Tabla 3

Resultados de pruebas estadísticas para las especies a las que se les midió la altura

ID	Especie	W	p-value	BP	p-value
a	<i>Corymbia maculata</i>	0,97	0,6008	0,27	0,6008
b	<i>Eucalyptus amplifolia</i>	0,95	0,1692	1,1	0,3033
c	<i>Eucalyptus botryoides</i>	0,98	0,8541	3,26	0,0711
d	<i>Eucalyptus saligna</i>	0,98	0,8258	0,12	0,7315
e	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	0,94	0,1479	0,78	0,3772
f	<i>Eucalyptus tricarpa</i>	0,96	0,3595	0,44	0,5077
g	<i>Fraxinus excelsior</i>	0,98	0,8829	1,35	0,2453
h	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0,92	0,0731	0,34	0,5600

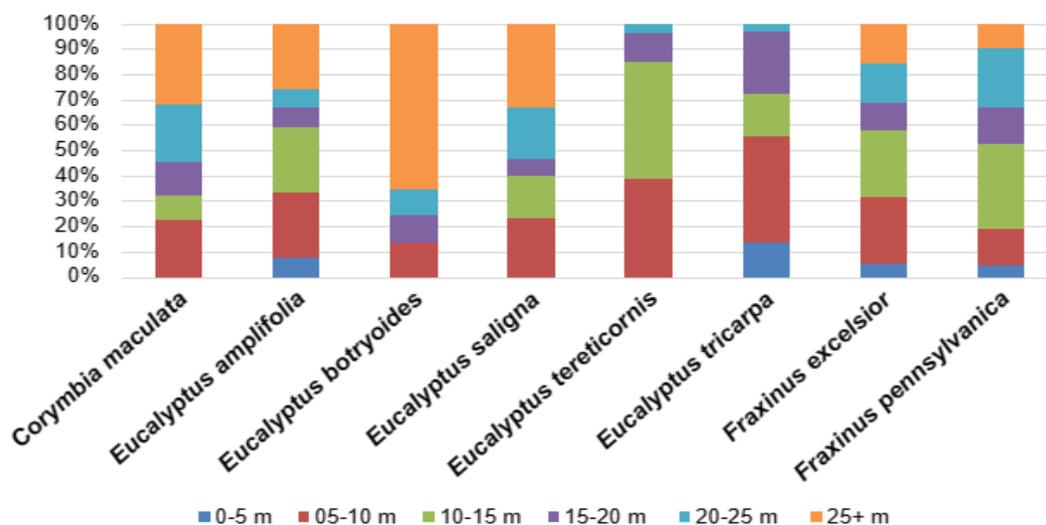
Nota. ID: identificación del modelo; W: estadístico de Shapiro-Wilks; BP: estadístico de Breusch-Pagan.

El que no se haya rechazado la hipótesis nula en los dos test descritos (Shapiro-Wilks y Breusch-Pagan) indica que el modelo de regresión propuesto (lineal), además de utilizable, es confiable para la estimación de las alturas.

En cuanto a la altura total de las ocho especies a las que se les tomó esa medida, se puede destacar que 25,9 % de los individuos medidos están comprendidos en un rango de entre cinco y diez metros. En proporción, con más de 25 metros de altura, destacan, *C. maculata*, *E. botryoides* y *E. saligna*. Las especies *E. tereticornis* y *E. tricarpa* no presentaron individuos dentro de esta última clase de altura. Dentro del rango más bajo estudiado (de cero a cinco metros), la mitad de las especies no presentó individuos. Los individuos comprendidos en las clases que contemplan alturas entre 10 y 25 metros suman 46,2 % del total de árboles medidos (Figura 21).

Figura 21

Proporción de clases de altura según las especies a las que se midieron la altura

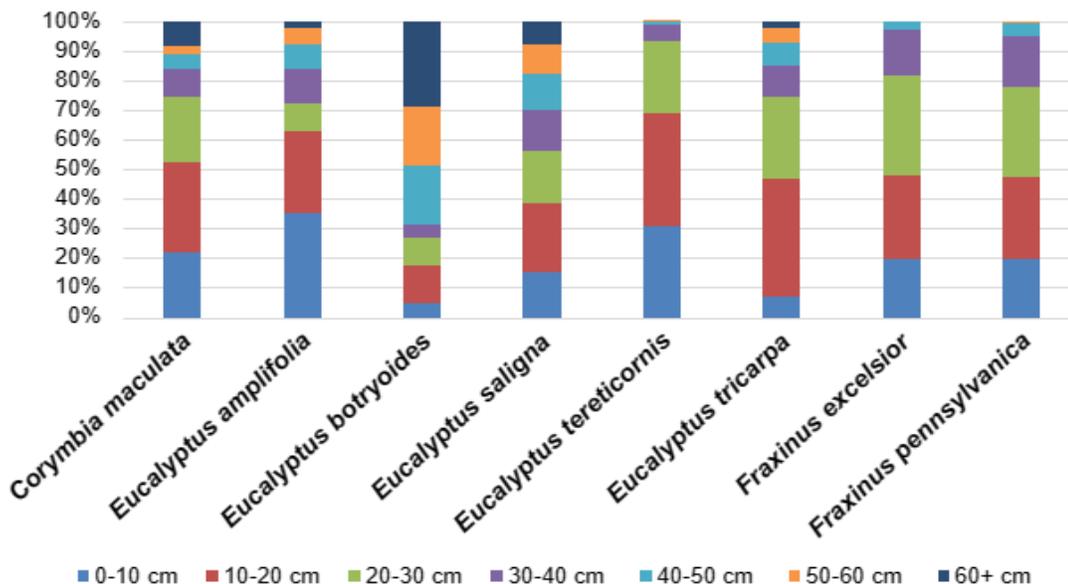


Cuando se observa la proporción de las clases diamétricas en cm de las ocho especies en cuestión, *C. maculata*, *E. saligna*, *E. tereticornis* y *E. tricarpa* son las que presentan el mayor número de individuos en el rango de 10 a 20 cm. En la clase de DAP de valor más alto (más de 60 cm), se destaca el *E. botryoides* con mayor representación y mayor número de individuos dentro del total de rangos, mientras que

las dos especies del género *Fraxinus* y el *E. tereticornis* no tienen individuos en esa clase diamétrica (Figura 22).

Figura 22

Proporción de clases diamétricas las especies a las que se midieron la altura



5.7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL SITIO

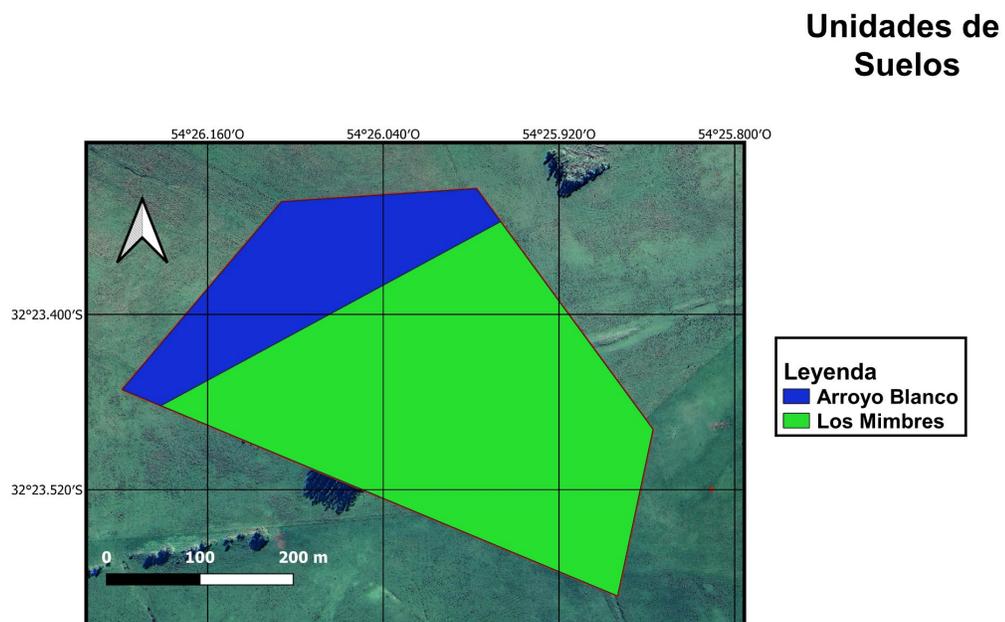
5.7.1 Características del ambiente físico

Como se cita en Durán y García Préchac (2007), la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000, indica que el *Arboretum* se encuentra entre las unidades AB (Arroyo Blanco) y LM (Los Mimbres). Según el compendio de suelos del Uruguay (División de Suelos y Aguas, del MGAP), en la “Unidad Arroyo Blanco” los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Típicos, mientras que en la unidad “Los Mimbres”, los suelos dominantes se clasifican como Brunosoles Éutricos Típicos (Figura 24) (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 2001).

Las características de los suelos presentes en el *Arboretum* son favorables para el cultivo de especies forestales, estando incluidos en los tipos de suelos de aptitud forestal. A su vez, una gran parte de las especies implantadas no presenta altos requerimientos en cuanto a suelo o se adaptan a una amplia gama de condiciones ambientales. También se puede observar una distribución espacial de las especies en cuanto a niveles de humedad, como por ejemplo los ejemplares de *Taxodium distichum* dentro y al lado del tajamar.

Figura 23

Mapa de las unidades de suelo presentes en el Arboretum de la EEBR

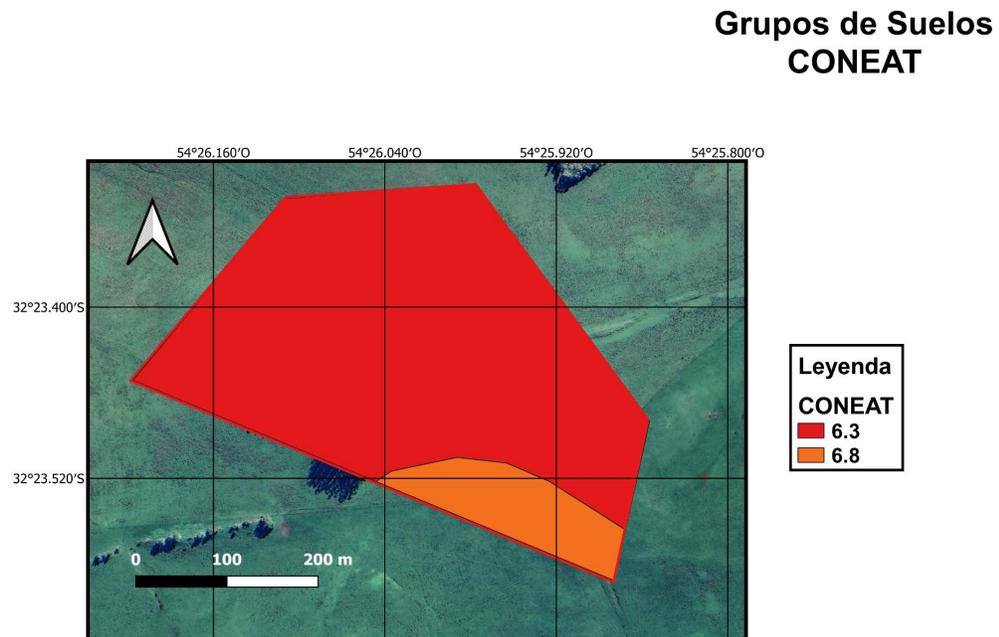


Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

La mayor parte de los individuos presentes en el *Arboretum* se encuentran sobre el grupo de suelos CONEAT 6.3, en este grupo los suelos predominantes son de tipo Brunosoles Subéutricos, profundos y moderadamente profundos, de textura media a pesada con buen drenaje y fertilidad media. Una menor proporción de los individuos pertenecientes a la especie *Eucalyptus tereticornis*, se ubican sobre el grupo de suelos CONEAT 6.8, dominado por Brunosoles Subéutricos Típicos de tipo profundo y superficial, pesados, de buen drenaje y con una fertilidad media (Figura 23).

Figura 24

Mapa con los grupos de suelos CONEAT presentes en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

5.7.2 Distribución de las especies en el espacio

Se observó un cierto patrón de distribución de las especies cultivadas (exóticas), las cuales se encuentran agrupadas en el espacio, teniendo en cuenta la topografía y la cercanía al tajamar y zonas adyacentes potencialmente inundables. Las especies nativas que habrían crecido de forma espontánea se encuentran dispersas en casi todas las zonas del *Arboretum*.

Se pueden diferenciar entre ocho y diez grupos de árboles separados, en algunos casos por parches sin árboles. Existen varios grupos compuestos por una sola especie de *Eucalyptus* y uno compuesto por una sola especie de *Corymbia* (*Corymbia maculata*) (ver Anexo H), algunos compuestos por un mismo género, con diferentes especies, como puede ser el conjunto de *Quercus*, o la agrupación de *Pinus*.

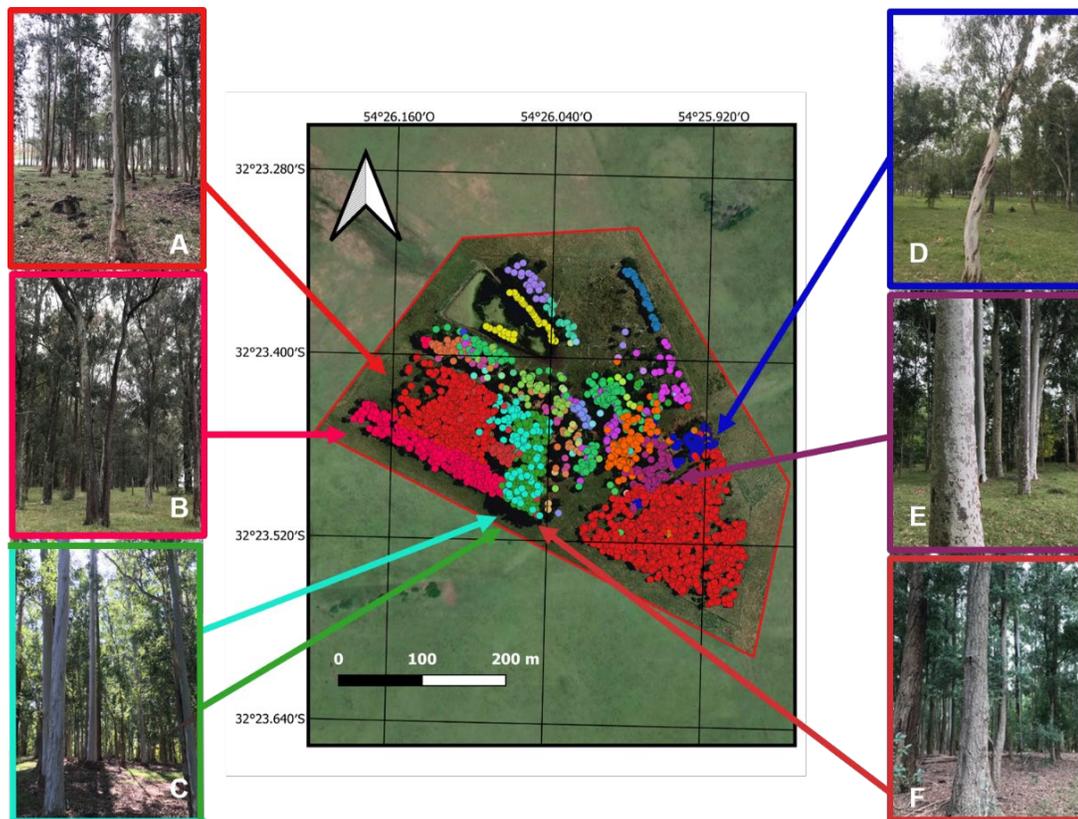
Dentro de lo que es la masa forestal que compone el *Arboretum*, los grupos de árboles más o menos definidos se encuentran aquellos que están agrupados por una sola especie como los de *E. tereticornis* y *E. tricarpa*, y otras agrupaciones compuestas por diversas especies de un sólo género como el conjunto de *Quercus* y *Pinus*. (Figura 25).

Se destacan dos sectores diferentes, separados en el espacio por un gran parche, compuestos por una misma especie, *Eucalyptus tereticornis* (Figura 24), y zonas del *Arboretum* integradas por especies diferentes, que pertenecen a diversos géneros, como el lugar donde se encuentran los individuos de *Cupressus*, la única araucaria, fresnos y el único individuo de *Eucalyptus grandis*.

Alrededor del tajamar se encuentran aquellas especies que en su hábitat natural aparecen en zonas costeras, suelos húmedos, sitios potencialmente inundables, o que presentan plasticidad para adaptarse a diferentes ambientes.

Figura 25

Distribución de *Eucalyptus* y *Corymbia* en el Arboretum de la EEBR



Nota. Figura con la letra A- *Eucalyptus tereticornis*, con la letra B- *Eucalyptus ticarpa*, con la letra C- *Eucalyptus saligna* y *botryoides*, con la letra D- *Eucalyptus leucoxylon*, con la letra E- *Corymbia maculata*, con la letra F- *Eucalyptus crebra*.

Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Teniendo en cuenta la proximidad al tajamar y el relieve del terreno, sobre e incluso dentro del agua, se encuentran los individuos del género *Taxodium*, más

precisamente de la especie *Taxodium distichum*, esta se caracteriza por presentar raíces laterales con crecimientos verticales, denominados neumatóforos. Dichas estructuras son proyecciones radiculares cónicas, leñosas y sin hojas, que se desarrollan normalmente en lugares sujetos a inundaciones. La altura que alcanzan varía según el nivel del agua, al cual son sometidas y cumplen la función de aireación (Heberling et al., 1999).

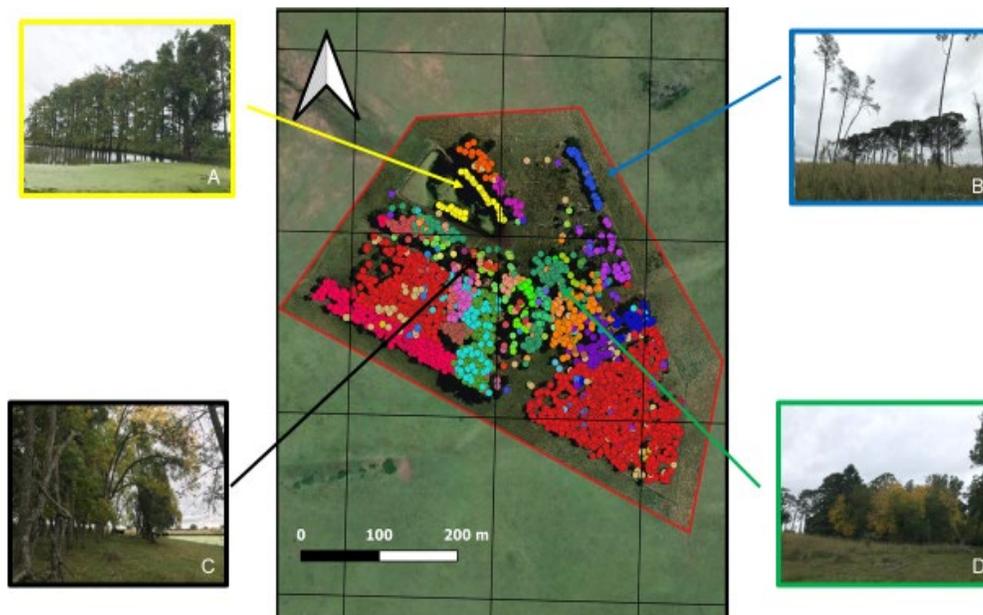
Del área cercana a los *Taxodium* y desde zonas bajas, hasta zonas altas del terreno, en dirección noreste, se encuentran todos los individuos del género *Pinus*, tales como *Pinus pinaster* (comúnmente conocido como pino marítimo), *Pinus taeda* (naturalmente se desarrolla en condiciones de suelo húmedo), *Pinus elliotii* (en su hábitat natural se desarrolla sobre suelos húmedos, cercanos a pantanos y lagos), *Pinus devoniana* y *Pinus halepensis* (Barbat & Martínez, 1981).

Hacia el este, en una zona baja y con cierta proximidad al tajamar se encuentran los individuos del género *Cupressus*, la araucaria y algunos de los ejemplares de fresnos. En el caso de *F. excelsior*, se desarrolla naturalmente en Europa en bosques mixtos, comúnmente asociado a diversas especies del género *Quercus*, siendo común en las zonas húmedas de Inglaterra, y en el caso de *F. pennsylvanica*, es originario de zonas bajas y húmedas del centro y este de Norteamérica (Figueredo, 2020; Loewe et al., 1997).

Hacia el suroeste del tajamar, se encuentran las tipas, casuarinas, pseudocidonias y los robles (Figura 26). En el caso de los robles se distribuyen ampliamente en el hemisferio Norte, desarrollándose en una amplia variedad de condiciones ecológicas, excepto en regiones de montañas y han sido llevados y cultivados en la mayor parte del mundo (Heberling et al., 1999).

Figura 26

Especies más próximas al tajamar en el Arboretum de la EEBR



Nota. Figura con la letra A- *Taxodium distichum*, con la letra B- *Pinus halepensis* y *Pinus pinea*, con la letra C- *Pseudocycdonia sinensis*, *Fraxinus spp.* y *Quercus spp.*, con la letra D- *Araucaria bidwillii* y *Fraxinus spp.* Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

5.7.3 Estado sanitario general

5.7.3.1 Especie exótica invasora

De forma complementaria al análisis estadístico se realizó el relevamiento de las condiciones generales del estado sanitario del *Arboretum* y entre los resultados se detectó la presencia de la especie *Gleditsia triacanthos* L. (espinas de Cristo o gleditsia - Fabaceae), considerada leñosa exótica invasora en nuestro país. Las leñosas invasoras disminuyen la abundancia y la diversidad de las especies nativas y pueden afectar negativamente a los ecosistemas (Sosa, 2021). La gleditsia tiene alto potencial de germinación, con semillas dispersadas por aves y mamíferos

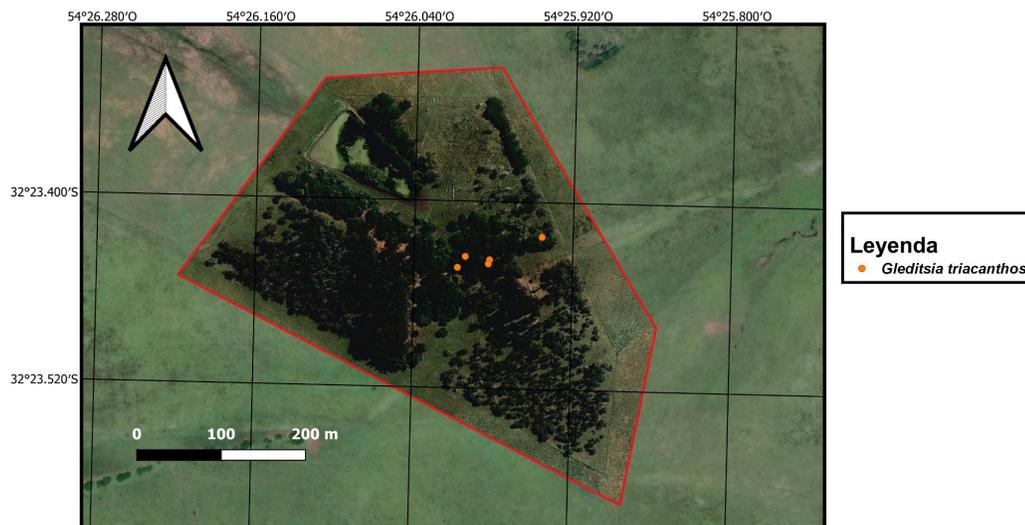
silvestres, aunque el ganado vacuno también se ha detectado como un importante agente de dispersión. En los ambientes riparios los frutos pueden dispersarse por hidrocoria (a partir del agua) (Fernández et al., 2017).

La mayoría de los ejemplares de *Gleditsia* identificados en el *Arboretum* están ubicados en zonas bajas de la topografía, cercanas al tajamar, en una zona inundable, lo que por las características de dispersión de la misma hacen necesario resaltar que puede representar una amenaza para otras especies (Figura 27).

Figura 27

Ubicación de la especie Gleditsia triacanthos en el Arboretum de la EEBR

Ubicación de especie exótica invasora



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Además, cabe destacar que en el *Arboretum* también se realiza la cría de ganado bovino, los cuales utilizan dicho monte para abrigo y sombra y se alimentan de la legumbre de la *Gleditsia*, generando una mayor dispersión lo que también resulta

en una amenaza, y en un mayor alcance de dicha especie hacia otras zonas del propio *Arboretum*.

5.7.3.2 Especie hemiparásita

En 86 individuos correspondientes a cuatro géneros (*Acacia*, *Eucalyptus*, *Fraxinus* y *Quercus*) y 11 especies, se observó la presencia de una especie arbórea hemiparásita, perteneciente a la especie *Tripodanthus acutifolius* (Ruiz & Pav.) Tiegh. (yerba del pajarito – Lorathaceae). Esta es una especie parásita parcialmente sobre ramas y raíces de otras especies arbustivas o arbóreas. Si bien germina en las ramas de los hospederos, puede parasitar otras ramas o crecer hasta el suelo y establecer nuevas conexiones hasta incluso con otros individuos. Eventualmente la conexión primaria se pierde y la especie asume un aspecto arbustivo o arbóreo, pero siempre permanece como hemiparásita (Dettke & Waechter, 2014).

En el *Arboretum* está presente y se registró en las siguientes especies: *Acacia melanoxylon*, *Eucalyptus amplifolia*, *Eucalyptus crebra*, *Eucalyptus leucoxylon*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus tereticornis*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Quercus bicolor*, *Quercus cerris* y *Quercus rubra*.

6. DISCUSIÓN

En el año 1956 Krall instala en un campo de la EEER lo que se llamaría “el *arboretum*”, con introducción de especies de varias partes del mundo. El *Arboretum*, tuvo como objetivo el estudio del comportamiento de diferentes especies a las condiciones de nuestro país, ya que este funcionó como la primera etapa de los programas de mejoramiento genético que inició y continuó Krall durante su carrera en la Facultad de Agronomía (J. Cabris, comunicación personal, 2022).

Uno de los objetivos del *Arboretum* fue comparar diferentes géneros en cuanto a sus crecimientos y adaptación al medio, y luego realizar esa comparación entre algunas especies dentro de esos géneros. Se sabe que las especies que sobrevivieron a la etapa de vivero, se implantaron y demostraron tener un potencial productivo a diversos niveles, fueron luego introducidas en ensayos dentro de la EEER para continuar y ampliar su evaluación (Olivero, 2018).

Muchas de las especies inicialmente instaladas y que posteriormente se probaron en ensayos, actualmente son parte de la producción forestal y parte de la historia de la educación forestal en Uruguay, lo cual resalta la importancia y función que tiene el *Arboretum* (L. Gallo, comunicación personal, 2023).

Según Olivero (2018) y basado en las entrevistas al Ing. Agr. Juan Cabris, al Ing. Agr. Rafael Escudero y al Ing. Agr. Luis Gallo, entre otros informantes calificados, en el año 1962 el *Arboretum* contaba con un total de 75 especies y 25 géneros cultivados; y muchas de las especies pertenecían al género *Pinus* por lo que se destacaba una zona bien diferenciada correspondiente a un *coniferatum*, con la presencia de especies como *P. taeda*, *P. elliotti*, *P. pinea*, *P. patula*, *P. halepensis* y *P. devoniana*.

La introducción del género *Pinus* al país fue creciendo en importancia debido a su alta capacidad maderable y a su uso como protección ante los efectos adversos del clima (Porcile, 2007). A mediados de la década del 50 se realiza una publicación mostrando trabajos realizados sobre técnicas de siembra de algunas especies del género *Pinus* (Del Castillo, 1952), registrándose también importaciones de semillas provenientes de Norteamérica. Estos registros tienen su razón, ya que las especies forestales de las que se tenían buenas experiencias provenían de grupos cuya distribución natural se corresponde con esas zonas. En aquel entonces la selección del material tenía un enfoque forestal, lo que se refleja en la proporción presente en el *Arboretum*.

Según Krall (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979) en su informe sobre la introducción de pinos, las mayores masas forestales en plantaciones comerciales en el hemisferio Sur se han realizado con especies originarias de áreas de distribución natural de climas subtropicales o templados, por lo que la investigación sobre el comportamiento de estos pinos en Uruguay era un tema de gran importancia. Esto llevó a que Krall realizara muchos esfuerzos en introducir la mayor cantidad posible de especies de las diferentes regiones de distribución, tanto de Norteamérica (suroeste y sureste de USA y México) y Centroamérica, así como de Asia y de Europa.

El inicio de las plantaciones forestales en el país se asocia con el género *Eucalyptus*, originario de Australia. En esta publicación se recomendaba realizar ensayos para la evaluación del crecimiento de las plantaciones en los diferentes sitios del país, con especial énfasis en las condiciones ecológicas de las distintas especies arbóreas (Hutton & Winkelmann, 1953). El carácter robusto, la diversidad, desarrollo, vigor y capacidad de adecuación a diversos sitios de los eucaliptos contribuyeron a que muchas de sus especies se adaptaran exitosamente en distintos ambientes de

nuestro país (Porcile, 2007). Esto podría explicar el por qué cuando Krall instala el *Arboretum*, el género *Eucalyptus* es el que ocupa la mayor proporción, tanto en términos de superficie como en número de especies e individuos.

El otro grupo importante de especies, tanto en área ocupada como en riqueza y abundancia, está relacionado a la familia Myrtaceae, y que ya se observaba en los pocos reportes que se encontraron sobre la composición del *Arboretum* (*Segundas Jornadas Forestales*, 1979). La riqueza de la familia Myrtaceae además del género *Eucalyptus*, está dada por el género *Corymbia*, ambos con alta capacidad de diversidad específica, plasticidad, rapidez de crecimiento y rusticidad (Brussa, 1994).

Dentro del género *Eucalyptus* se observó que hoy en día en el *Arboretum* existe una diferenciación en el régimen silvícola de algunas especies como *E. amplifolia* y *E. tereticornis*, las cuales por ser destinadas a aserrío recibieron dos talas, una en el año 2005 y otra en 2008 (L. Gallo, comunicación personal, 2023).

Las especies más relevantes del género *Eucalyptus* en cuanto a número de individuos son *E. tereticornis*, *E. tricarpa* y *E. saligna*, tres especies con buena capacidad de buena adaptación al medio (Boland, 1980 como se cita en Brussa, 1994). La mayor proporción de individuos de *E. tricarpa* podría deberse a que en su momento fue muy utilizado por el sector de vialidad perteneciente al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), para ser colocados a los lados de las rutas, por lo que se requería comprobar el desempeño de los mismos. También, Krall consideraba la existencia de un complejo “*saligna* - *grandis*”, y debido a la aparente presencia de ese complejo en las plantaciones “locales”, Krall habría implantado un número elevado de *E. saligna* (G. Jolochin, comunicación personal, 2023).

Del análisis de abundancia se desprende que la mayor parte de los individuos pertenece a cuatro familias y cinco géneros (*Myrtaceae* - *Corymbia* y *Eucalyptus*, *Oleaceae* - *Fraxinus*, *Fagaceae* - *Quercus* y *Pinaceae* - *Pinus*), las cuales contienen especies de alto valor maderable y buena adaptación al medio debido a que es posible seleccionar un rango amplio de especies y/o materiales de diferentes orígenes y procedencias. Se conoce que en diversas partes del mundo los fresnos se asocian con otras especies, como robles y pinos, sucediendo esa asociación con robles en el *Arboretum* (Loewe et al., 1997).

También, se puede deducir que determinadas especies no se plantaron en grandes cantidades debido al propio objetivo del *Arboretum* de reproducir germoplasma de especies con destino maderable más que ornamental (Olivero, 2018), y estas especies ya habían sido reportadas como especies promisorias para la producción (Morón & Padula, 1964). Conforme al conocimiento previo del buen comportamiento forestal de las especies de *Pinus* y *Eucalyptus* provenientes del sur de Norteamérica y del sureste de Australia en nuestro país, se estima que Krall aumentó el número de individuos por especie y número de especies por género dentro de esos grupos de plantas.

En términos de abundancia, del total de individuos registrados, el 72,0 % proviene de Oceanía (*Eucalyptus*), y el 13,3 % de Norteamérica (*Pinus*), lo que tiene sentido ya que la selección de materiales para el *Arboretum* tenía por objetivo la elección de materiales destinados a programas de mejoramiento genético forestal (Olivero, 2018), y estos dos grupos de plantas ya habían sido cultivadas en el país desde fines del siglo XIX y estaban incluidas en las recomendaciones de plantación para la producción (Hutton & Winkelmann, 1953).

Según Boland (1980) como se cita en Brussa (1994), *Eucalyptus tereticornis*, en su lugar de origen (costa noreste a sureste de Australia), prefiere suelos aluviales, fértiles, franco-arenosos, húmedos, con buen drenaje, pero se adapta a una amplia gama de suelos. Los grupos de suelos CONEAT presentes en el *Arboretum* son 6.3 y 6.8, donde predominan suelos de tipo Brunosoles Subéutricos, profundos y moderadamente profundos, de textura media a pesada con buen drenaje y fertilidad media. Ésta puede representar una de las razones por la que dicha especie sea la principal en el *Arboretum*. También se entiende que Krall utilizó el conocimiento con el que contaba acerca de los requerimientos de las especies que pretendía implantar en conjunto con los espacios que disponía en la EEBR.

En el año 1990, Sorrentino elaboró tablas de rendimiento promedio en base al primer Inventario Forestal Nacional realizado en 1986, de algunas de las especies forestales más relevantes para el país en ese entonces (Sorrentino, 1990). Los rebrotes jóvenes de eucaliptos colorados presentaron valores promedio de diámetro de 10,2 cm y una altura de 12,2 m de altura. La información obtenida luego de realizar el análisis de los datos recabados a campo en el *Arboretum*, permiten observar cierta semejanza con los datos provenientes de Sorrentino (1990), siendo los del *Arboretum* Krall con un DAP de entre 9,9 y 10,5 cm correspondientes a alturas entre los 7,1 y 14,3 m.

En su región de origen, *Eucalyptus amplifolia* se puede desarrollar con un hábito arbustivo, llegando a los 12 - 20 m de altura, mientras que, si se desarrolla como un árbol propiamente dicho, puede alcanzar más de 30 m de altura, mientras que en *E. tereticornis*, presenta un tamaño denominado como mediano, con una altura entre 20 y 50 m y un DAP de 200 cm o más. Para *E. botryoides* puede alcanzar los 30 - 40 m de altura y 100 cm de DAP, mientras que en el caso de *E. saligna* puede

alcanzar una altura de entre 30 y 55 m con un DAP de 200 cm. En *E. tricarpa* como es una especie de bosque abierto, logra una altura entre 25 - 35 m con un DAP de 100 cm aproximadamente (Boland et al., 2006).

Mediante el análisis de los registros realizados en el *Arboretum*, en el género *Eucalyptus*, se pudo observar que la especie *E. amplifolia* presentó un rango de DAP de 4,1 a 65,3 cm y una altura de entre 4 a 40,3 m, coincidiendo con los valores reportados por Boland et al. (2006) en que cuando esta especie se desarrolla como árbol (en su región de origen) puede alcanzar más de 30 m de altura. Para el caso de *E. botryoides*, que en Australia puede alcanzar los 100 cm de DAP y 30 - 40 m de altura (Boland et al., 2006), presentó en el *Arboretum* una altura de 36,4 m a los 111,4 cm de DAP. En el caso de *E. saligna*, en los datos recabados en el *Arboretum*, con un DAP de 94,5 cm alcanzó una altura de 33,3 m, cuando es común en su región de origen que pueda alcanzar entre 30 y 55 m con un DAP de 200 cm (Boland et al., 2006). De acuerdo a la información de Boland et al. (2006), el *E. tricarpa*, en su distribución natural, presenta alturas de entre 25 y 35 m y un DAP de 100 cm aproximadamente, mientras que, en el *Arboretum*, dicha especie presentó una altura máxima de 29,6 m a los 52,8 cm de DAP.

En un estudio realizado por López y Vera Bravo (2018) con distintos orígenes de la especie *Corymbia maculata* en la región de Mesopotamia Argentina, donde se analizó el DAP y altura a los nueve años de edad, reportando valores promedio de DAP desde 14,5 cm hasta 17,3 cm y de altura de entre 16 y 18,2 m. La altura máxima de la especie *Corymbia maculata*, en su distribución natural, oscila entre los 35 - 45 m y presenta un DAP máximo de 100 - 130 cm (López & Vera Bravo, 2018). Comparando los datos para esta especie obtenidos por López y Vera Bravo (2018) y los datos obtenidos del censo realizado en el *Arboretum*, se puede ver como la

información de las dos fuentes es similar, siendo que la variación de DAP de 14 a 15,3 cm arrojó un rango de alturas de entre 15 y 18,7 m en el *Arboretum*.

Por otra parte, de acuerdo con Loewe et al. (1997), los fresnos en general son árboles que presentan distintos portes, siendo lo más común entre 25 y 30 m de altura, pero pudiendo llegar a los 42 m. También se señala que cuando implantado comercialmente puede tener fustes limpios de hasta 15 m de altura. Bradley et al. (1966) como se cita en Loewe et al. (1997) indica que, para los fresnos, arces y abedules en Inglaterra, entre los 40 y 50 años de edad es donde se produce el máximo incremento en volumen medio anual con una altura total de entre 15,4 y 21,0 m y un DAP medio entre 18,6 y 38,8 cm. Según los datos obtenidos en el *Arboretum Krall*, hay una variación en algunos individuos para valores similares de DAP y altura citados por Loewe et al. (1997). En *Fraxinus pennsylvanica* se obtuvo una variación de 18,1 cm a 32,8 cm de DAP con alturas que van desde 6,8 m a 25,9 m de altura para esos rangos de diámetro. Para *Fraxinus excelsior* el DAP entre 19,4 cm a 37,2 cm contiene alturas que van desde los 9 m hasta los 28,3 m. Esta variación se puede deber a condiciones de sitio, así como también la falta de información de la edad de los fresnos presentes.

En la introducción de especies forestales al Uruguay no existe un gran énfasis sobre el cultivo del género *Quercus*, al menos para la producción comercial a gran escala, sin embargo, es el segundo género en términos de riqueza de especies en el *Arboretum*. Esto podría haberse debido a la plasticidad que presenta en cuanto a sus requerimientos edáficos (Burckhardt, 1947 como se cita en Heberling et al., 1999) y a la disponibilidad de propágulos de fuentes locales. Este género, con aproximadamente 400 especies, es uno de los géneros más importantes en los bosques templados semidecíduos del hemisferio Norte. También son importantes al

tener relación con la estructura y composición de los bosques, así como el valor que presentan en cuanto a los servicios ecosistémicos que brindan (Boloni et al., 2021).

Debido a las cualidades de los robles y a la necesidad de explorar especies con buenos comportamientos para la producción forestal, Krall incluyó en el *Arboretum* una gran riqueza de especies de *Quercus*. Si bien en esa época no existían muchas iniciativas de introducción de especies, había plantaciones no comerciales como en el *Arboretum* Lussich en Maldonado con una gran riqueza y donde se podía observar el desempeño de las especies (Ross, 1964). Más adelante se realizaron algunos trabajos de introducción con objetivos forestales como las plantaciones en FYMNSA en las que se incluyeron robles y otras especies forestales, aunque no tuvieron seguimiento (Vizcarra, 2009).

Desde el punto de vista del crecimiento, los datos analizados de crecimiento en diámetro y altura resultaron similares a los conocidos para las especies estudiadas (Boland et al., 2006; López & Vera Bravo, 2018; Sorrentino, 1990), sin embargo, el escaso manejo silvicultural que presenta el *Arboretum* podría explicar algunas diferencias entre lo esperado y lo observado.

Actualmente se observa una pérdida de riqueza muy importante en término de especies, ya que para este trabajo sólo se registraron 44 especies cultivadas (33 especies se habrían perdido) y, además, se perdieron dos géneros (se registraron 23). Según información de la Jornada Forestal realizada en la EEER en 1979, en el año 1957, *Pinus patula* y *Pinus radiata* se encontraban entre las especies del género *Pinus* presentes en el *Arboretum*. La primera especie constituye una de las especies que se perdió, ya que no aparece en el relevamiento de este trabajo (2021 - 2022), aunque hasta alrededor del año 2018 aún seguía presente según información

brindada por G. Jolochin (comunicación personal, 2023), lo que refiere a una pérdida relativamente reciente. De *Pinus radiata* sólo fueron identificados restos de un árbol que no se midió, ya que no se consideró relevante desde el punto de vista cuantitativo. La prácticamente extinción de la especie *P. radiata* en el *Arboretum* puede ser explicada por los problemas fitosanitarios que presentó la misma en nuestro país (L. Gallo, comunicación personal, 2022; Porcile, 2007).

Se entiende que la mayor parte de las especies perdidas debieron pertenecer al género *Pinus*, dado que tanto a través de la información de Olivero como la brindada por L. Gallo (comunicación personal, marzo, 2023), se sabe que existía en esa zona un gran *coniferatum*, en el que se incluían especies de las familias Pinaceae, Cupressaceae y Araucariaceae. La aparente reducción importante en el área donde estaba presente el *coniferatum* puede haber sido provocada por caídas, problemas sanitarios, etc, incluso debido a una serie de manejos posteriores a las plantaciones iniciales.

Debido al comportamiento exitoso inicial de *Pinus radiata* a nivel nacional, especie de origen norteamericano, en comparación con las especies europeas que se utilizaban de forma habitual en el territorio uruguayo, se introdujeron otras especies norteamericanas que podrían ser prometedoras. En el caso de las especies *P. taeda* y *P. elliotii*, dos de las especies más utilizadas en forestaciones de pinos comerciales en Uruguay y reportadas por Krall (Porcile, 2007), como parte de las especies con mejores comportamientos. En el *Arboretum* se relevó una baja abundancia de estas especies, aunque se sospecha que habría habido una disminución en el área ocupada por dichas, aunque el comportamiento de estos materiales fue diferente en ensayos de procedencias posteriores, por lo que la disminución de individuos que sufrió el *Arboretum* en la parte del *coniferatum* podría deberse al material genético introducido

inicialmente. Cabe destacar que para estas dos especies se realizaron ensayos de evaluación de crecimiento en la EEER posteriormente a su instalación en el *Arboretum* y con resultados diferentes (Porcile, 2007).

Entre las diversas funciones que puede tener un *Arboretum*, se destaca la de brindar información sobre plagas forestales; así como también son utilizados para la investigación centinela, como aporte en la protección de la sanidad vegetal mundial, por lo que en estas colecciones vivas se pueden monitorear y registrar los cambios de salud de los árboles. En el caso particular del *Arboretum Krall* se constató la incidencia de ataques de insectos y enfermedades causadas por hongos, información que es de importancia para el relevamiento de datos fitosanitarios. Dado que el *Arboretum* no es una plantación con destino comercial no se le realizaron manejos sanitarios o estéticos a lo largo de los años, como podría ser prescripciones de podas u otros tratamientos intermedios típicos en el manejo forestal silvícola, por lo que se observaron árboles con bifurcaciones, inclinaciones y torceduras, aunque estas características también podrían ser de origen genético.

Se evidencia la presencia de *Tripodanthus acutifolius*, comúnmente conocida como “yerba de pajarito”, siendo esta una especie hemiparásita arbórea (Dettke & Waechter, 2014), en varios ejemplares de especies exóticas. Una planta que es hemiparásita, bajo condiciones normales es parásita, es decir obtiene algunos o todos los nutrientes que necesita para su desarrollo del hospedero, pero es fotosintética en cierto grado, y esto afecta el normal desarrollo del árbol porque además de quitarle nutrientes también compite por la captación de la radiación solar (Dettke & Waechter, 2014). En este relevamiento de registro, a simple vista, se observa una mayor incidencia sobre el género *Eucalyptus*.

También se registró la presencia de seis ejemplares de *Gleditsia triacanthos* (exótica invasora), en su mayoría, en zonas bajas de la topografía, pero también uno de los individuos se encontró más alejado del tajamar, lo cual se debe a la presencia de ganado bovino en el *Arboretum*, para el cual la legumbre de esta especie es muy apetecible lo que aumenta el riesgo de dispersión de la misma (Fernández et al., 2017). Los DAP de los ejemplares de *Gleditsia* censados fueron de 10,2 a 18,8 cm, por lo que se podría deducir que no son individuos originales de la plantación inicial del *Arboretum*, aunque esta especie se encuentra plantada en una serie de ensayos de cuadros de sombra (fresnos americanos, europeos, además de gleditsias), combinadas con cortinas cortavientos instaladas en 1959 por el propio Krall en la EEER. La presencia de esta especie requiere mantener un control de sus individuos por ser una especie exótica invasora, pudiendo diseminarse por toda el área del *Arboretum*, causando una pérdida de diversidad al suprimir otras especies.

Actualmente en el *Arboretum* se pueden diferenciar algunas zonas bien definidas donde se encuentran las especies pertenecientes a los géneros *Eucalyptus* (originario de Oceanía), *Fraxinus* (nativo del Mediterráneo y Norteamérica), *Pinus* (con especies nativas de África, Asia, Europa Norte y Centroamérica y del Mediterráneo), *Quercus* (con especies nativas de Asia, Europa Norteamérica y el Mediterráneo) y *Taxodium* (nativo de Norteamérica). Estos géneros sobresalen debido a su elevado número de individuos. Las especies de los géneros *Quercus* y *Taxodium* se encuentran distribuidas alrededor del tajamar. Por otra parte, las especies que presentan dos o tres individuos tienen una distribución más o menos agrupada, mientras que las especies representadas por un solo ejemplar se encuentran en zonas de claros o borde, dejando a entender que en un pasado pudieron tener más individuos y que desaparecieron por algún motivo.

Con la información obtenida durante la revisión bibliográfica y el trabajo realizado a campo, se podría indicar que el *Arboretum* Krall presenta características contempladas en la definición de *Arboretum* elaborada por Cheek y Proches (2022) como colecciones vivas documentadas de especies leñosas cultivadas para investigación, educación y exhibición, en cuanto a que efectivamente es un lugar donde se cultivan árboles y arbustos con esos fines. Sin embargo, en la definición dada por la IABG que considera a los *arboreta* y jardines botánicos como uno solo, el *Arboretum* no cumpliría exactamente con la definición estricta, ya que no es un lugar abierto al público en el que las plantas están etiquetadas y tienen registros de seguimiento de la procedencia de los materiales. De acuerdo a Cheek y Proches (2022) la señalización y etiquetado de los individuos es una condición necesaria para ser un *Arboretum*. Como instrumento para salvaguardar recursos forestales, como centro de conservación *ex situ* y desarrollando un rol importante en la investigación y entrenamiento en el conocimiento botánico (Esparza-Olguín et al., 2020).

Se puede decir que es coincidente con la definición del *Arboretum* de Galicia, el que dice que un *Arboretum* es un espacio natural protegido en el que se desarrollan colecciones de árboles con fines paisajísticos y educativos (Arboretum de Galicia, s.f.), y el *Arboretum* Krall ha sido utilizado con fines educativos desde su instalación hasta la actualidad, aunque sus inicios fueron la base en el comienzo de los programas de mejoramiento genético forestal en el Uruguay.

7. CONCLUSIONES

El *Arboretum* Krall es uno de los lugares donde se puede encontrar el inicio de una larga historia en el mejoramiento de las especies forestales que hoy en día se utilizan como parte fundamental de los sistemas de producción forestal nacional a gran escala en Uruguay. Los resultados obtenidos mediante el análisis del comportamiento de los materiales allí implantados, dio lugar a una gran cantidad de ensayos posteriores que permitieron la selección de materiales mejorados, la instalación de huertos semilleros y el progreso en el conocimiento sobre el comportamiento productivo a nivel nacional.

La composición botánica en el *Arboretum* mantiene presente los lineamientos de selección de grupos de especies que fueron indicadas como prometedoras en su comportamiento forestal basados en el estudio de las características del sitio y las características de esas especies, por lo que los orígenes de los materiales relevados siguen representando el énfasis en la introducción de pinos norteamericanos y mediterráneos, así como eucaliptos del este y sureste de Australia.

En la actualidad, si bien el *Arboretum* presenta una riqueza menor a la original, sigue manteniendo una gran riqueza de especies de *Eucalyptus*, *Pinus* y *Quercus*, siendo el género *Eucalyptus* el que presenta la mayor abundancia respecto a los demás géneros, lo que permite tener información sobre la adaptación y crecimiento por un largo período de tiempo a un conjunto de especies de interés relevante. La pérdida de riqueza pudo estar mayormente relacionada a los malos comportamientos de algunas especies, como por ejemplo *P. radiata*, así como también debido a malos manejos que pudieron ocurrir.

Los crecimientos, medidos por medio del DAP y la H_t han permitido comparar los crecimientos reportados por otros investigadores, mostrando tendencias

generales sobre las características de estas especies y su adaptabilidad a ciertas condiciones de tiempo y espacio en nuestra región. Los modelos hipsométricos ajustados han proporcionado valores característicos reportables para esas masas forestales, describiendo de forma complementaria parte de la estructura poblacional para ese sitio particular.

El censo de todas las poblaciones del *Arboretum* Krall ha permitido describir de forma completa la riqueza y abundancia de las especies presentes, así como parte del comportamiento en el crecimiento de un subconjunto de sus especies, además del reporte de algunas de las condiciones sanitarias respecto a especies invasoras y hemiparásitas. Este tipo de información relevada a este nivel, no ha sido publicada ni reportada para este sitio en particular desde su instalación en 1956, por lo que resulta información de gran valor para la toma de decisiones respecto a su condición actual y a las posibles acciones que debieran ser realizadas a futuro.

Se destaca la inminente necesidad de obtener y divulgar conocimiento sobre arboretos o colecciones botánicas de este estilo, a modo de elaborar planes de manejo y conservación, por ejemplo, con el objetivo de ampliar y utilizar eficazmente la información contenida dentro de estos espacios.

Debido a la historia del *Arboretum*, su importancia en el desarrollo de la producción forestal uruguaya y en su rol como colección dendrológica para el sistema educativo del país, es nuestra sugerencia la recomendación de designar al *Arboretum* de la EEER bajo el nombre de *Arboretum* Krall, quien fue impulsor de la investigación forestal en la Facultad de Agronomía desde la EEER, docente dedicado de la Universidad de la República y, gran extensionista y promotor de la (nueva) cultura forestal uruguaya.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J. C. (1959). Cuatro silvicultores. En *Almanaque del Banco de Seguros del Estado* (pp. 282-285). BSE.
- Aldana, E. (2008). *Medición forestal: Texto para la carrera ingeniería forestal*. UNLP.
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A. M., & Villarreal, H. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. <https://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/manual-inventario-biodiversidad.pdf>
- Aramburu, M. J., Elvira, N., & Gutiérrez, A. L. (2019). *Inventario forestal del parque de Facultad de Agronomía Sayago* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Arboretum de Galicia. (s.f.). *¿Qué es un Arboretum?* <https://arboretumdegalicia.com/que-es-un-arboretum/>
- Barbat, J. P., & Martínez, C. F. (1981). *Estudio sistemático de especies en el género Pinus existentes en: Estación experimental bañado de medina, parque de OSE, parque de vacaciones de UTE y parques de Montevideo* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Barham, E. (2016). The unique role of sentinel trees, botanic gardens and arboreta in safeguarding global plant health. *Plant Biosystems*, 150(3), 377-380. <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1179231>

- Bennadji, Z., & Scoz, R. (2017). 30 años de la ley forestal: Retrospectiva y reflexiones desde la perspectiva de la investigación. *Revista INIA*, (51), 34-37.
- Berretta, A., Condón, F., & Rivas, M. (2007). *Segundo informe país sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. FAO.
<https://www.fao.org/3/i1500e/Uruguay.pdf>
- Bohne, M., & DiGirolomo, M. F. (2021). Urban Arboreta: Havens of biodiversity provide important information on tree pests. *Branching Out*, 28(10), 1-3.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20253.79846>
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., Chippendale, G. M., Hall, N., Hyland, B. P. M., Johnston, R. D., Kleinig, D. A., MacDonald, M. W., & Turner, J. D. (2006). *Forest trees of Australia*. CSIRO.
- Boloni, J., Aszalos, R., Frank, T., & Odor, P. (2021). Forest type matters: Global review about the structure of oak dominated old-growth temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 500, Artículo e119629.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119629>
- Brussa, C. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuentes en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.
- Burke, M., & Morgan, B. (2009). Digital mapping: Beyond living collection curation. *Public Garden*, (3), 9-10.

- Cheek, M. D., & Proches, S. (2022). The value of arboreta in South Africa. *South African Journal of Science*, 118(7-8), Artículo e12730.
<https://doi.org/10.17159/sajs.2022/12730>
- Damery, J., Dossman, M., Hird, A., Pfeiffer, S., Port, K., & Richardson, K. (2011). *Plant inventory operations manual*. The Arnold Arboretum of Harvard University. https://arboretum.harvard.edu/wp-content/uploads/2020/07/plant_inventory_operations_manual.pdf
- De María, I. (1957). *Montevideo Antiguo: Tradiciones y recuerdos*. Ministerio de Instrucción Pública y Previsión Social.
- Del Castillo, C. (1952). Posibilidades de difundir el género Pinus en el Uruguay. *Revista Silvicultura*, (2), 3-50.
- Dettke, G. A., & Waechter, J. L. (2014). *Estudo taxonômico das ervas de passarinho da região sul do Brasil: I. Loranthaceae e Santalaceae*. *Rodriguésia*, 65(4), 939-953. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201465408>
- Dosmann, M. S. (2007). The Arnold Arboretum`s living collections: A repository for research. *Arnoldia*, 65(2), 30-39.
- Downing, M., & Roberts, R. K. (1991). Estimating visitor use-value of arboreta: The case of the University of Tennessee Arboretum. *Journal of Environmental Horticulture*, 9(4), 207-210. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-9.4.207>
- Durán, A., & García Préchac, F. (2007). *Suelos del Uruguay: Origen, clasificación, manejo y conservación* (Vol. 2). Hemisferio Sur.

- Eschen, R., O'Hanlon, R., Santini, A., Vannini, A., Roques, A., Kirichenko, N., & Kenis, M. (2019). Safeguarding global plant health: The rise of sentinels. *Journal of Pest Science*, 92, 29-36. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1041-6>
- Esparza-Olguín, L. G., Martínez, A. M., Hernández, G., & Martínez, E. (2020). Botanical garden and arboretum: forest conservation, strategies in anthropized landscapes of the Mexican tropics. *Revista Mexicana de Ciencias Vegetales*, 11(60), 51-77. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.724>
- Fernández, A. (1959). *Informe final* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Fernández, R. D., Ceballos, S. J., Malizia, A., & Aragon, R. (2017). *Gleditsia triacanthos* (Fabaceae) in Argentina: A review of its invasion. *Australian Journal of Botany*, 65(3), 203-213. <https://doi.org/10.1071/BT16147>
- Ferreira, J. L., Marquesini, M., & Zarate, H. T. (2001). Desempenho de modelos de relações hipsométricas: Estudo em três tipos de florestas. *Scientia Forestalis*, (60), 149-163.
- Figueredo, E. (2020). *Árboles de Montevideo interesantes por su otoñada: Fresno americano: Fraxinus pennsylvanica Marshall*. Escuela de Jardinería Prof. Julio Muñoz. [https://jardinbotanico.montevideo.gub.uy/sites/jardinbotanico.montevideo.gub.uy/files/articulos/descargas/cg_fraxinus - j. lage e. figueredo.pdf](https://jardinbotanico.montevideo.gub.uy/sites/jardinbotanico.montevideo.gub.uy/files/articulos/descargas/cg_fraxinus_-_j._lage_e._figueredo.pdf)

- Flores, C. E., & Flores, K. L. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. *Societas*, 23(2), 83-97.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>
- Heberling, M., Martin, D., & Regusci, A. (1999). *Estudio del comportamiento de plantaciones de Quercus robur L. y Taxodium distichum (L.) Rich. en Uruguay* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Heguy, E., & Del Rey, J. M. (Eds.). (1981). *Estudios sobre la forestación en Uruguay*. Universidad de la República.
- Hudson, A., Smith, P., Gori, B., & Sharrock, S. (2021). Botanic garden collections: An under-utilized resource. *American Journal of Plant Sciences*, 12(9), 1434-1444. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.129101>
- Hutton, M., & Winkelmann, H. G. (1953). Informe sobre forestación y desarrollo forestal en Uruguay. *Silvicultura*, (3), 7-39.
- Izaguirre, P. (2012). 100 Años de historia de la botánica en la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. En R. Olivero, G. Cruz, & P. Izaguirre (Eds.), *Misceláneas de historia de la Facultad de Agronomía* (pp. 29-55). Universidad de la República.
- Jolochin, G., & Speroni, G. (2007). *Árboles y arbustos del parque de la Facultad de Agronomía*. Universidad de la República.

- Krall, J. (1970a). *Adaptabilidad de Coníferas de Norte América plantados en el Uruguay y su susceptibilidad a insectos y enfermedades*. Universidad de la República. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36984>
- Krall, J. (1970b). *Fundamentos para nuevas introducciones de Eucalyptus en el Uruguay*. Universidad de la República.
- Lee, S. J., Kim, J.-H., Nam, G.-H., Kim, M.-H., & Lim, C. E. (2014). An inventory of Korean living collections in the Arnold Arboretum of Harvard University, USA. *Journal of Species Research*, 3(2), 183-194.
<https://doi.org/10.12651/JSR.2014.3.2.183>
- Ley nº 13.695. (1968). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/13695-1968/65?tipoServicio=>
- Lobo, M., & Medina, C. I. (2009). Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenible. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 33-42.
- Loewe, V., Delard, C., & Subiri, M. (1997). *Fresno: Fraxinus excelsior: Monografía*. INFOR.
- Lombardo, A. (1954). *Inventario de las plantas cultivadas en Montevideo*. Intendencia Municipal de Montevideo.

López, J. A., y Vera Bravo, C. D. (2018). Crecimiento y rectitud del fuste de orígenes geográficos de *Corymbia* spp. en la Mesopotamia argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3), 309-315.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142018000300008&lng=es&tlng=es

Lyons, R. E. (1999). Arboreta and gardens: Teaching laboratories in the undergraduate curriculum: Introduction. *HortTechnology*, 9(4), 548-548.

<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.9.4.548>

Miller, J. S., Lowry, P., Aronson, J., Blackmore, S., & Havens, K. (2016). Conserving biodiversity through ecological restoration: The potential contributions of botanical gardens and arboreta. *Candollea*, 71(1), 91-98.

<https://doi.org/10.15553/c2016v711a11>

Morón, I., & Padula, M. (1964). Ensayo de introducción en género *Pinus*. *Silvicultura*, (21), 5-25.

Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Universidad Complutense de Madrid.

Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*.

https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

Oldfield, S. F. (2009). Botanic gardens and the conservation of tree species. *Trends in Plant Science*, 14(11), 581-583.

Olivero, R. (2018). *La cenicienta venerable: De los orígenes al centenario de la Estación Experimental Profesor Bernardo Rosengurtt de la Facultad de Agronomía, Bañado de Medina (Cerro Largo)*. Universidad de la República.

- Otero, V. M. (1957). *Informe final del curso de 5º año* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Pérez, S. (2016). *Caracterización agroclimática de la región noreste de Uruguay y su influencia en la producción ganadera* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Porcile, J. F. (2007). *Crónicas del desarrollo forestal del Uruguay*. Universidad de la República.
- Primack, R. B., & Miller-Rushing, A. J. (2009). The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist*, 182(2), 303-313.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02800.x>
- Ross, P. (1964). *Introducción al estudio de los “robles” del bosque Lussich* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14(1), 174.
<https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Sánchez, E. F. (2022). Downscaling estadístico, escenario RCP 8.5, Galápagos - Ecuador. En Centro de Publicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Ed.), *Sensores remotos, GIS y software R, aplicado a hidrogeología y cambio climático* (pp. 127-175). <https://edipuce.edu.ec/wp-content/uploads/2023/02/Sensores-remotos-gis-y-software-R.pdf>

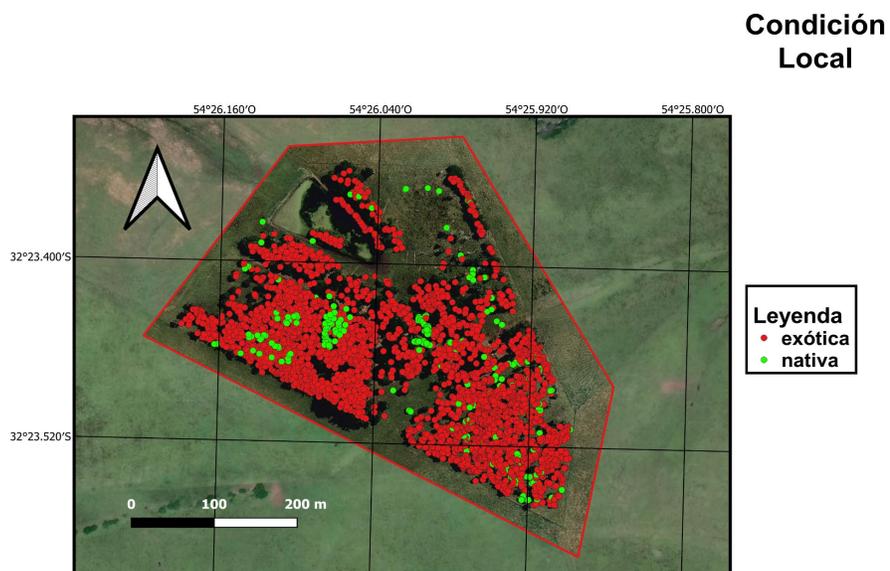
- Schlatter, J. E., & Gerding, V. (2014). Sitio forestal. En C. Donoso, M. González, & A. Lara (Eds.), *Ecología forestal: Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos en Chile* (pp. 309-319). UACH.
- Segundas Jornadas Forestales*. (1979). Facultad de Agronomía.
- Sorrentino, A. (1990). *Rendimiento de especies forestales exóticas en el Uruguay*. Universidad de la República.
- Sorrentino, A. (1997). *Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales*. Hemisferio Sur.
- Sorrentino, A. (2010). *Manual teórico-práctico: Técnicas e instrumentos de medición forestal: Vol. 1*. Universidad de la República.
- Sosa, B. (2021). *Bases ecológicas para el control integral de la especie exótica invasora *Gleditsia triacanthos* (Fabaceae) en el Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.
<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Torres, D., Bennaadji, Z., & Nikichuk, N. (2011). Primer banco nacional de ADN genómico de género *Eucalyptus*: Implicaciones en el registro y trazabilidad clonal. *Revista INIA*, (27), 45-47.

- Trinidad, L. (2021). *Análisis de la composición botánica del Parque Jardín Botánico de Montevideo “Profesor Atilio Lombardo”* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Turner-Skoff, J. B., Paist, S., Byrne, A., & Westwood, M. (2021). ArbNet: 10 years of fostering collaborations, furthering professionalism, and advancing the planting and conservation of trees through the global network of arboreta. *Plants, People, Planet*, 4(2), 128-135. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10228>
- Un recuerdo para el ingeniero Krall. (2014). *Revista Forestal*, (8), 48. <http://www.revistaforestal.uy/wp-content/uploads/2015/09/For-08.pdf>
- Vizcarra, M. (2009). *Evaluación del comportamiento de plantaciones de Liquidambar styraciflua y Platanus sp. en Uruguay* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Wang, G. G. (1998). Is height of dominant trees at a reference diameter an adequate measure of site quality? *Forest Ecology and Management*, 112(1-2), 49-54.
- Wyse Jackson, P. S., & Sutherland, L. A. (2000). *International agenda for botanic gardens in conservation*. Botanic Gardens Conservation International.
- Yazici, B., & Yolacan, S. (2007). A comparison of various tests of normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 77(2), 175-183.

9. ANEXOS

Anexo A

Distribución de las especies según condición (exótica o nativa) en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Bibliografía Anexo A

Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo B

Listado de las 44 especies cultivadas identificadas en el Arboretum, con su familia, región de origen y número de individuos correspondiente

Especie	Familia	Región de origen	N° de individuos
<i>Araucaria bidwillii</i>	Araucariaceae	Oceanía	1
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaceae	Oceanía	3
<i>Taxodium distichum</i>	Cupressaceae	Norteamérica	38
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	Norte y Centroamérica	6
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Fabaceae	Norteamérica	6
<i>Acacia melanoxylon</i>	Fabaceae	Oceanía	3
<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae	Sudamérica	2
<i>Acacia mearnsii</i>	Fabaceae	Oceanía	1
<i>Quercus cerris</i>	Fagaceae	Asia	37
<i>Quercus palustris</i>	Fagaceae	Norteamérica	29
<i>Quercus rubra</i>	Fagaceae	Norteamérica	18
<i>Quercus bicolor</i>	Fagaceae	Norteamérica	17

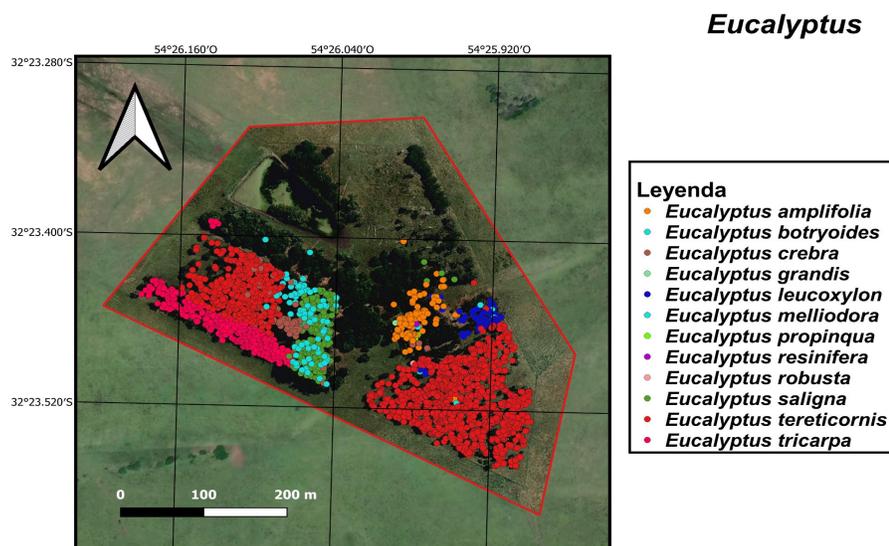
Especie	Familia	Región de origen	Nº de individuos
<i>Quercus robur</i>	Fagaceae	Europa	11
<i>Quercus macrocarpa</i>	Fagaceae	Norteamérica	4
<i>Quercus laurifolia</i>	Fagaceae	Norteamérica	4
<i>Quercus phellos</i>	Fagaceae	Norteamérica	2
<i>Quercus suber</i>	Fagaceae	Europa	2
<i>Quercus ilex</i>	Fagaceae	Mediterráneo	1
<i>Juglans nigra</i>	Juglandaceae	Norteamérica	2
<i>Maclura pomifera</i>	Moraceae	Norteamérica	33
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Myrtaceae	Oceanía	1048
<i>Eucalyptus tricarpa</i>	Myrtaceae	Oceanía	301
<i>Eucalyptus saligna</i>	Myrtaceae	Oceanía	237
<i>Corymbia maculata</i>	Myrtaceae	Oceanía	108
<i>Eucalyptus amplifolia</i>	Myrtaceae	Oceanía	75
<i>Eucalyptus botryoides</i>	Myrtaceae	Oceanía	86
<i>Eucalyptus crebra</i>	Myrtaceae	Oceanía	70
<i>Eucalyptus leucoxylon</i>	Myrtaceae	Oceanía	60

Especie	Familia	Región de origen	Nº de individuos
<i>Eucalyptus melliodora</i>	Myrtaceae	Oceanía	7
<i>Eucalyptus robusta</i>	Myrtaceae	Oceanía	1
<i>Eucalyptus propinqua</i>	Myrtaceae	Oceanía	2
<i>Eucalyptus resinifera</i>	Myrtaceae	Oceanía	1
<i>Eucalyptus grandis</i>	Myrtaceae	Oceanía	1
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Oleaceae	Norteamérica	177
<i>Fraxinus excelsior</i>	Oleaceae	Mediterráneo	67
<i>Pinus pinaster</i>	Pinaceae	Europa	31
<i>Pinus pinea</i>	Pinaceae	Europa y Asia	26
<i>Pinus taeda</i>	Pinaceae	Norteamérica	25
<i>Pinus elliottii</i>	Pinaceae	Norteamérica	15
<i>Pinus halepensis</i>	Pinaceae	Mediterráneo	2
<i>Pinus canariensis</i>	Pinaceae	África	2
<i>Cedrus deodara</i>	Pinaceae	Oceanía	1
<i>Pinus devoniana</i>	Pinaceae	Norte y Centroamérica	1

Especie	Familia	Región de origen	N° de individuos	
<i>Pseudocydonia sinensis</i>	Rosaceae	Asia	4	
Totales 	44	16	9	2568

Anexo C

Ubicación de las especies pertenecientes al género Eucalyptus en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Bibliografía Anexo C

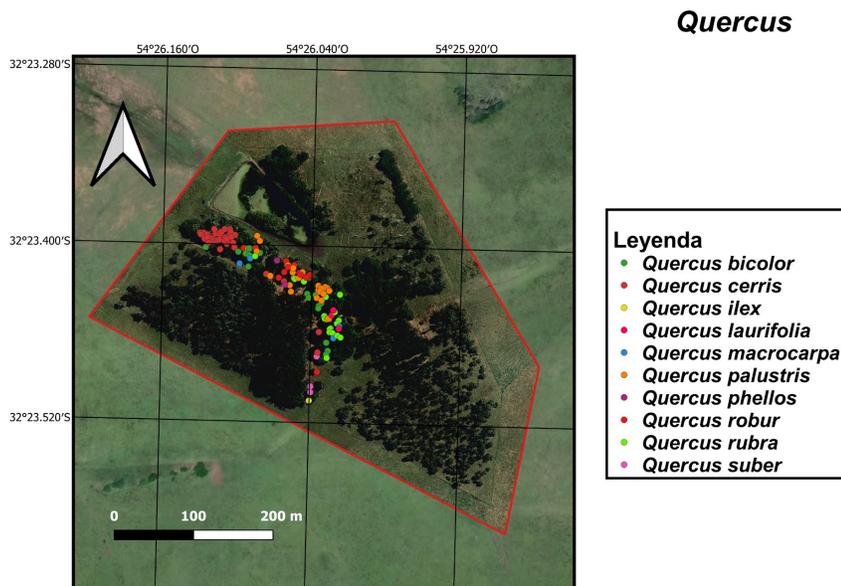
Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS*

(versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo D

Ubicación de las especies pertenecientes al género Quercus en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

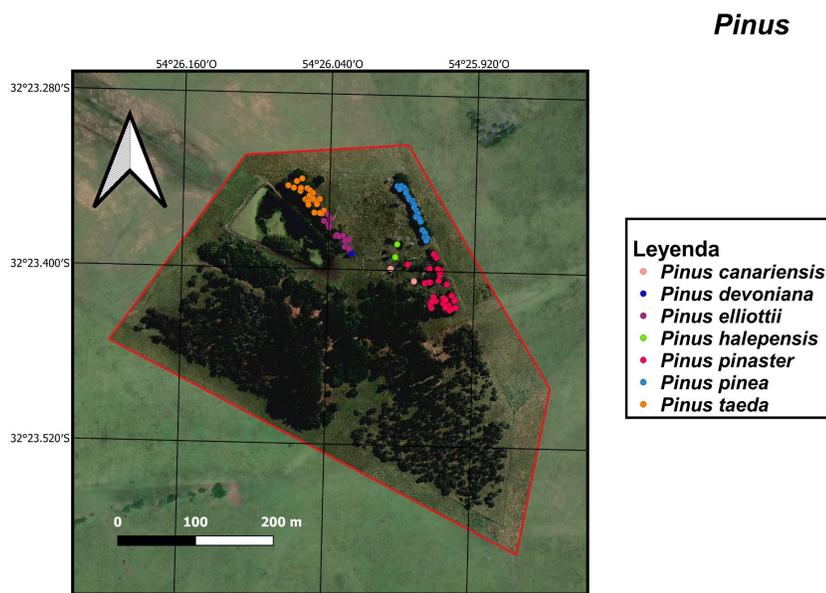
Bibliografía Anexo D

Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo E

Ubicación de las especies pertenecientes al género Pinus en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Bibliografía Anexo E

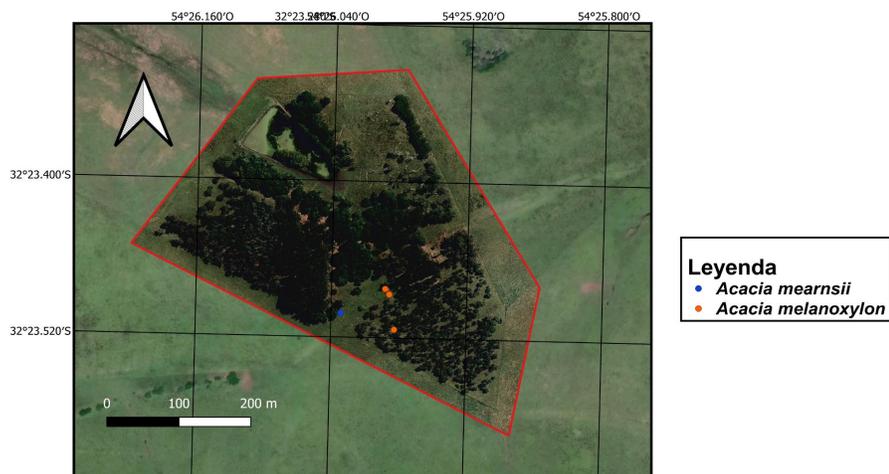
Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo F

Ubicación de las especies pertenecientes al género Acacia en el Arboretum de la EEBR

Acacia



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

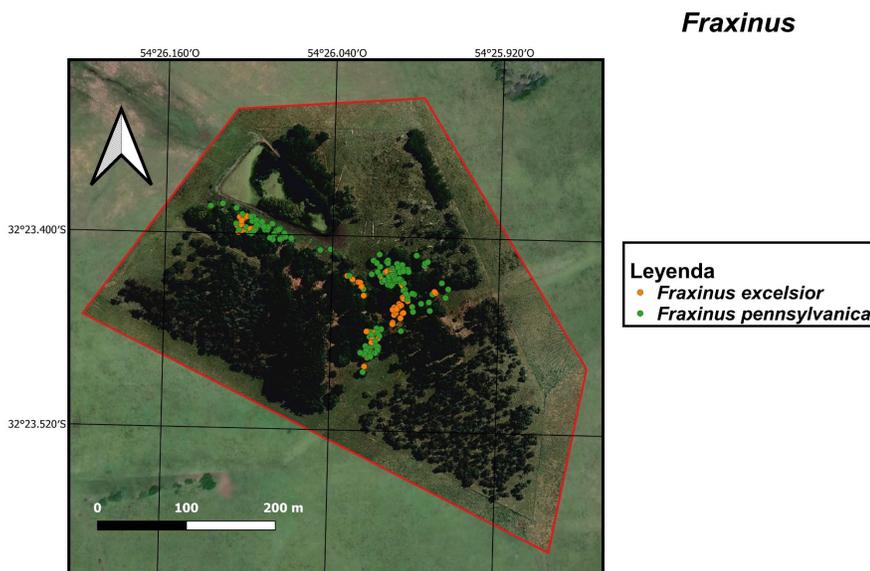
Bibliografía Anexo F

Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo G

Ubicación de las especies pertenecientes al género Fraxinus en el Arboretum de la EEBR



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Bibliografía Anexo G

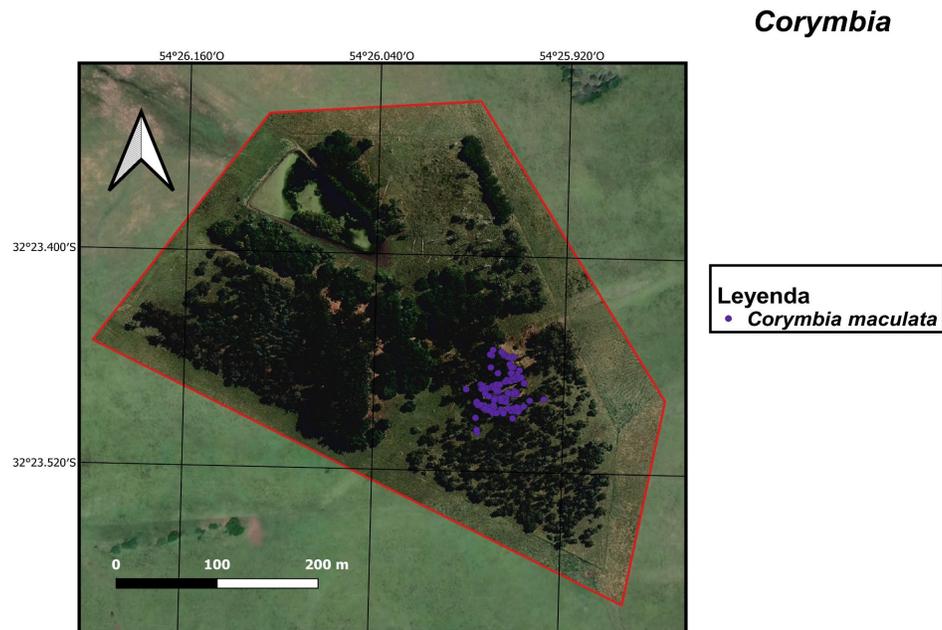
Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS*

(versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Anexo H

Ubicación de los individuos pertenecientes al género Corymbia y a la especie Corymbia maculata



Nota. Mapa generado en Sutton et al. (2020) con las coordenadas 39° 09' 22" S y 43° 24' 17" O. EPSG:32721 WGS 84 / UTM zone 21S.

Bibliografía Anexo H

Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibande, L., & Mthombeni, S. (2020). *QGIS* (versión 3.16) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>