

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN ECONÓMICA PRODUCTIVA DE UN SISTEMA DE *Eucalyptus grandis* EN DOS INTENSIDADES DE RALEO EN LA ZONA CENTRO SUR DE URUGUAY

por

María Belén BALESTIÉ GONZÁLEZ

Ana Inés RACHETTI XIMENEZ

Camila REGGIARDO DI LASCIO

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO

URUGUAY

2022

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. Adriana Bussoni

-----  
Ing. Agr. Mariana Boscana

-----  
Ing. Agr. Óscar Bentancur

-----  
Ing. Agr. Martha Tamosiunas

-----  
Ing. Agr. Luis Gallo

Fecha: 27 de setiembre de 2022

Autoras:

-----  
María Belén Balestíe

---

Ana Inés Rachetti

---

Camila Reggiardo

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras tutoras las Ing. Agr. Adriana Bussoni e Ing. Agr. Mariana Boscana, quienes nos dieron la posibilidad de realizar esta tesis brindando información y evacuando dudas, por su gran disposición durante todo el trabajo siempre estando a las órdenes.

Al Ing. Agr. Óscar Bentancur quien nos brindó una gran ayuda en la parte estadística.

A todo el personal de la biblioteca de Facultad, quienes nos brindaron la información necesaria, siempre en tiempo y forma para llevar a cabo una correcta revisión bibliográfica de la tesis.

A los propietarios y administradores del establecimiento, en especial a Ricardo García Pintos, quienes nos permitieron visitar y obtener los datos necesarios para el desarrollo de la tesis, estando disponibles durante las visitas, así como luego de las mismas para brindar información y dar a conocer datos necesarios.

A nuestras familias y amigos por el apoyo brindado durante toda la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	IV
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 <u>Objetivo general</u> .....	2
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u> .....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	3
2.1.1 <u>Generalidades</u> .....	3
2.1.2 <u>Distribución natural</u> .....	4
2.1.3 <u>Producción en Uruguay</u> .....	4
2.2 TRATAMIENTOS SILVICULTURALES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES .....	5
2.2.1 <u>Podas</u> .....	5
2.2.1.1 Definición y objetivos .....	5
2.2.1.2 Tipos de podas.....	6
2.2.1.3 Prescripción de podas.....	6
2.2.2 <u>Raleos</u> .....	7
2.2.2.1 Definición y objetivos .....	7
2.2.2.2 Tipos de raleos .....	7
2.2.2.3 Prescripción de raleos .....	9
2.2.2.4 Efectos del raleo sobre el crecimiento del rodal .....	9
2.3 SISTEMAS SILVOPASTORILES .....	11
2.3.1 <u>Sistemas silvopastoriles en Uruguay</u> .....	14

2.4 ANTECEDENTES ECONÓMICOS Y FINANCIEROS .....	15
2.5 HIPÓTESIS .....	18
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	19
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO .....	19
3.2 DISEÑO DE LA MUESTRA .....	23
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	23
3.3.1 <u>Modelo estadístico para datos individuales</u> .....	23
3.3.2 <u>Modelo estadístico para datos por parcela</u> .....	24
3.4 ESTUDIO DE CASO .....	24
3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO .....	27
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	31
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	31
4.1.1 <u>Resultados estadísticos por parcela</u> .....	31
4.1.2 <u>Resultados estadísticos por hectárea</u> .....	34
4.1.3 <u>Resultados estadísticos por árbol</u> .....	36
4.1.4 <u>Resultados financieros por superficie total</u> .....	41
4.1.5 <u>Resultados financieros por hectárea</u> .....	42
4.1.6 <u>Resultados financieros del Sistema 3</u> .....	44
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	48
6. <u>RESUMEN</u> .....	51
7. <u>SUMMARY</u> .....	52
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	54
9. <u>ANEXOS</u> .....	61

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Uso de suelo .....	20
2. Precios considerados de cosecha y flete.....	30
3. Precio de madera considerados .....	30
4. Análisis de varianza para el factor altura .....	31
5. Análisis de varianza para el factor DAP .....	32
6. Análisis de varianza para el factor DAP .....	32
7. Medias ajustadas del DAP según la cantidad de raleos .....	32
8. Medias ajustadas del DAP según el sitio .....	32
9. Análisis de varianza para el factor volumen .....	34
10. Análisis de varianza para el factor volumen .....	34
11. Medias ajustadas del volumen según la cantidad de raleos .....	34
12. Medias ajustadas del volumen según el sitio .....	34
13. Análisis de varianza para el factor altura .....	36
14. Medias ajustadas de la altura según la cantidad de raleos .....	36
15. Medias ajustadas de la altura según el sitio .....	36
16. Análisis de varianza para el factor DAP .....	37
17. Análisis de varianza para el factor DAP .....	37
18. Medias ajustadas del DAP según la cantidad de raleos .....	38
19. Medias ajustadas del DAP según el sitio .....	38
20. Análisis de varianza para el factor volumen .....	39
21. Análisis de varianza para el factor volumen .....	39
22. Medias ajustadas del volumen según la cantidad de raleos .....	39
23. Medias ajustadas del volumen según el sitio .....	39
24. Volumen de cosecha .....	41
25. Flujo neto incremental (US\$) entre el S1 y S2 .....	41
26. Indicadores financieros del S1 y S2.....	42
27. Flujo neto incremental (US\$/ha) entre el S1 y S2.....	43
28. Indicadores financieros del S1 y S2.....	43
29. Volumen cosechado en el Sistema 3.....	44
30. Flujo neto incremental (US\$) entre el S2 y el S3.....	44
31. Indicadores financieros del S2 y S3 .....	45
32. Flujo neto incremental (US\$/ha) entre el S2 y el S3.....	45

33. Indicadores financieros del sistema S2 y S3 .....	46
---	----

Figura No.

1. Distribución natural de <i>Eucalyptus grandis</i> .....	4
2. Efecto de método de raleo sobre la distribución de clases del DAP .....	8
3. Volumen promedio de árbol individual (m <sup>3</sup> ) de <i>Eucalyptus pilularis</i> con seis medias finales que van desde un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años .....	10
4. Volumen de madera en pie (m <sup>3</sup> /ha) para de <i>Eucalyptus pilularis</i> con seis medias finales que van desde un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años .....	10
5. Valor actual neto de la madera en pie por hectárea a una tasa de descuento del 6% para cada tratamiento y medición de <i>Eucalyptus pilularis</i> cultivado en un ensayo con seis medias finales que van de un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años .....	17
6. Tasa interna de retorno para cada tratamiento de <i>Eucalyptus pilularis</i> cultivado en un ensayo con seis medias finales que van de un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años .....	18
7. Ubicación del predio "Santa Magdalena" .....	19
8. Ubicación de los padrones y tipos de suelos CONEAT .....	21
9. Distribución de los árboles.....	22
10. Ubicación de las parcelas .....	25
11. Ubicación de las parcelas localizadas en la zona sur del predio .....	25
12. Ubicación de las parcelas localizadas en la zona norte del predio.....	26
13. Clinómetro electrónico Haglöf.....	26
14. Variación del DAP en función del raleo .....	33
15. Variación del DAP en función del sitio .....	33
16. Variación del volumen por hectárea en función de la cantidad de raleos .....	35
17. Variación del volumen por hectárea en función del sitio.....	35
18. Variación de la altura por árbol en función de la cantidad de raleos .....	36
19. Variación de la altura por árbol en función del sitio .....	37
20. Variación del DAP por árbol en función de la cantidad de raleos .....	38
21. Variación del DAP por árbol en función del sitio.....	38
22. Variación del volumen por árbol en función de la cantidad de raleos .....	40
23. Variación del volumen por árbol en función del sitio.....	40

## 1. INTRODUCCIÓN

Uruguay se encuentra en la zona templada de América del Sur y posee un clima similar a países tales como Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Chile, los cuales presentan las producciones forestales más extensas del mundo (SPF, 2021). En el correr de los últimos años la forestación en Uruguay ha ido ganando territorio, siendo el clima una de las razones de este aumento, debido a que es similar al lugar de origen de las especies que se plantan en el país. Adicionalmente en el año 1987 se implementaron en el país nuevas condiciones jurídicas y económicas que impulsaron a grandes inversores forestales a iniciar la etapa de expansión forestal en el territorio.

Actualmente la superficie efectiva de bosques plantados en Uruguay corresponde a 1.087.109 hectáreas, lo que representa un 6% del área total nacional (MGAP. DGF, 2021), superficie cinco veces mayor a la que ocupaba en el año 1990. Los departamentos de Rivera, Tacuarembó, Paysandú, Río Negro y Lavalleya son aquellos con mayor superficie destinada a esta producción. Este crecimiento se explica fundamentalmente por la aprobación de la segunda Ley forestal No. 15.939 en el año 1987, la cual procuró un ordenamiento a nivel territorial, compatibilizando la mejor aptitud forestal, con la menor interferencia frente actividades agrícolas y pecuarias, típicas en Uruguay.

Las principales especies forestales utilizadas en el país son *Eucalyptus grandis* con una superficie efectiva de 250.964 hectáreas lo que representa un 30% del total de bosque plantado, *Eucalyptus dunnii* con 216.581 hectáreas lo que representa un 26% del total y en tercer lugar *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* con 150.908 hectáreas lo que representa un 18% del total (MGAP. DGF, 2021).

En los últimos años, el sector forestal en Uruguay ha tenido un desarrollo significativo. Cada vez son más los productores que deciden realizar sistemas silvopastoriles de forma de aumentar y diversificar su producción, tanto para el sector ganadero como para el sector forestal.

Estos sistemas suponen una menor densidad de árboles por unidad de superficie para dar lugar a una mayor integración con la actividad ganadera, por lo que es importante obtener productos madereros de mayor valor, de manera de compensar el menor volumen obtenido. La obtención de los resultados técnicos y económicos-financieros mejora la toma de decisiones por parte de los productores que estén analizando diferentes formas de integración de la actividad forestal en sus predios.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

El objetivo general de esta investigación fue:

evaluar una plantación de *Eucalyptus grandis* en un sistema silvopastoril desde el punto de vista productivo y económico financiero para la zona centro Sur del país.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos fueron:

- cuantificar la producción de madera con destino sólido en sistemas de baja densidad.
- Comparar la productividad de los sistemas silvopastoriles en dos intensidades de raleo.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 *Eucalyptus grandis*

#### 2.1.1 Generalidades

El género *Eucalyptus spp.* pertenece a la familia Myrtaceae la cual está compuesta por 140 géneros y 3000 especies de zonas tropicales y subtropicales de América, Asia y Oceanía. Esta familia es de gran importancia económica debido a la diversidad de productos que se pueden obtener a partir de su producción (madera, pulpa de celulosa, combustible, aceites esenciales, especias, frutos comestibles, jardinería, etc.). En cuanto al género comprende alrededor de 500 especies nativas de Australia. Las principales características de los eucaliptos son su rápido crecimiento, la dureza de la madera y su elasticidad.

Según Brussa (1994), *Eucalyptus grandis* es un gran árbol de tronco recto y muy buen desrame natural; follaje de textura media a gruesa. Su corteza es caduca en fajas largas, con el ritidoma gris verdoso a gris blanquecino, la porción basal persistente escamosa hasta los 3 metros de altura y luego lisa. En cuanto a su taxonomía presenta hojas alternas pecioladas y lanceoladas, de color verde oscuro, discoloras. Sus flores se encuentran agrupadas en inflorescencias simples, axilares. Los botones florales son ovoides o globosos generalmente glaucos. Los frutos son piriformes, contraídos en el orificio y parcialmente en la zona central con 4 a 6 valvas levemente excertas, curvas con ápices convergentes.

### 2.1.2 Distribución natural

*Eucalyptus grandis* es originario de Australia específicamente del Norte de Nueva Gales del Sur y Queensland.

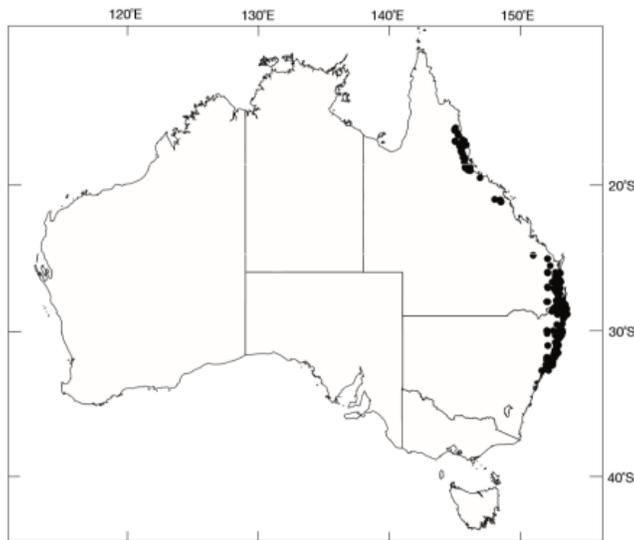


Figura 1. Distribución natural de *Eucalyptus grandis*

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

El clima de esta zona es templado en el Sur hasta tropical en el Norte, con temperaturas medias máximas de 29°C a 32°C y mínimas de 5°C a 6°C. Con lluvias de verano de 1000 a 1700 mm y presencia de una estación seca de aproximadamente 3 meses, esta especie es susceptible a las fuertes heladas y al déficit hídrico. Requiere suelos profundos con buen drenaje, siendo preferibles suelos franco fértiles o franco arcillosos. Igualmente da resultado sobre suelos arenosos de adecuada profundidad.

### 2.1.3 Producción en Uruguay

Uruguay presenta gran variedad de ecorregiones en las cuales existen condiciones variables para los ecosistemas forestales, por lo que se puede decir que muchas de las especies plantadas en este país tienen suficiente plasticidad para adaptarse a una amplia gama de condiciones ambientales. *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* son dos de las especies arbóreas más plantadas en Uruguay, mostrando una gran adaptación a suelos de baja fertilidad.

En Uruguay aproximadamente el 80% de la superficie forestada es ocupada por el género eucalyptus y dentro de este género la especie *Eucalyptus grandis* es la de mayor importancia (MGAP. DGF, 2021). La superficie destinada a *Eucalyptus grandis* ha ido aumentando en el correr de los años ya que es una especie utilizada con el fin de producir tanto madera sólida como madera para pulpa de celulosa y junto con su alta calidad le da la posibilidad de competir en mercados internacionales (Paseyro, 2015). El destino final de la madera sólida implica que las plantaciones sean sometidas a tratamientos silviculturales como son las podas y raleos con el fin de obtener madera de calidad libre de nudos con un gran diámetro y volumen.

De acuerdo a MGAP. DGF (2021), las plantaciones forestales en el departamento de Florida representan el 5% de la superficie departamental, abarcando 53.666 hectáreas efectivas, teniendo en cuenta tanto plantaciones nuevas como reforestaciones o manejo de rebrotes. La especie predominante en este departamento es *Eucalyptus dunnii* con 10.251 hectáreas efectivas, seguido por *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus maidenii* y *Eucalyptus bicostata* con 8.861 hectáreas y *Eucalyptus grandis* con 8.554 hectáreas efectivas.

## 2.2 TRATAMIENTOS SILVICULTURALES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES

Según Cueto (2012) la calidad de la madera va a estar determinada en base a los tratamientos silviculturales que se le realicen a la plantación, lo cual va a determinar la calidad del producto final y su valor comercial. Los principales tratamientos que se realizan son poda y raleo.

### 2.2.1 Podas

#### 2.2.1.1 Definición y objetivos

La poda es la corta intermedia en la que se retiran ramas con el propósito de producir madera de mayor calidad, es un tratamiento que se aplica al rodal durante la rotación (Hawley y Smith, 1954).

Los eucaliptus con destino aserrable que se plantan en Uruguay presentan la característica de “desrame natural”, por lo que las ramas inferiores mueren y se desprenden del árbol sin necesidad de intervenir otros agentes, este proceso es lento y en la mayoría de los casos quedan restos de tejidos muertos que no caen al suelo y son rápidamente cubiertos por el nuevo leño al crecer el diámetro del árbol (van Hoff, 1997), razón por la cual es necesaria la realización de podas.

Los objetivos que tiene la poda son:

- control de la calidad de la madera, por corrección de defectos de los fustes.
- Control de la calidad de la madera, por reducción de la incidencia de nudos y defectos anatómicos asociados a éstos.
- Reducción del riesgo de incendios; separación del mantillo de las copas (poda baja).
- Creación de las condiciones necesarias para uso agroforestal.
- Tender a obtener mayor valor de venta en la cosecha final.

#### 2.2.1.2 Tipos de podas

Existen dos tipos de podas determinados según su intensidad: la poda de formación que corresponde a una poda selectiva y la poda sistemática la cual corresponde a una poda total.

La poda de formación es un tipo de poda realizada en etapas muy tempranas en la rotación, con el fin de corregir defectos en el fuste, como horquetas, ejes múltiples, o pérdida de dominancia del brote apical (esto se debe a que se busca que el brote apical sea único).

Mientras que la poda sistemática es un tipo de poda en la que se retiran ramas laterales desde el suelo hasta una altura determinada del fuste, con el fin de reducir la incidencia de nudos (retirarlas antes de que se sequen y mueran) y defectos anatómicos en la madera.

#### 2.2.1.3 Prescripción de podas

La época de poda más propicia para el género *Eucalyptus* se relaciona con el período en que el árbol posee una mayor tasa de incremento en diámetro del fuste y el cambium genera tejido cicatricial que cierra rápidamente la herida. En *Eucalyptus grandis* se ha observado que la máxima tasa de crecimiento en diámetro a la altura de pecho (DAP) ocurre en otoño, desde mediados de marzo a mediados de junio (Cabris, 2004). También otra época permisible para podar ocurre entre mediados de agosto y principios de octubre ya que en este período la tasa de crecimiento es alta. La poda invernal no es aconsejable ya que el cambium puede sufrir congelación y necrosis, interrumpiendo el proceso de oclusión de la herida. Por lo que el leño queda expuesto al ataque de agentes externos (insectos plaga o microorganismos patógenos) y susceptible a procesos de oxidación y coloración anómala que disminuyen la calidad de la madera. La poda estival tampoco es

aconsejable ya que en este periodo se registran las menores tasas de crecimiento de las células del cambium por lo que la formación de tejido cicatricial es más lenta.

A partir de una investigación realizada en el departamento de Rivera (Pelufo y Vázquez, 2007) en la cual se estudió la evolución del crecimiento de *Eucalyptus grandis* hasta los 6 años de edad bajo 18 combinaciones de poda y raleo se llegó a la conclusión de que el nivel de poda que permite mayores crecimientos tanto en diámetro como en volumen es aquel que retira un 40% de la copa viva al año de la plantación, en el segundo año un 20% y en el tercer año un 15% de la copa viva. Por el contrario, el nivel de poda que generó menores tasas de crecimiento fue el que retiraba 50%, 35% y 35% de la copa viva durante tres años consecutivos. Teniendo un mayor efecto aquel tratamiento en el cual se realizó una poda muy severa retirando un 60% de la copa verde, este resultado es posible ya que en esta última situación la poda se aplicó en dos etapas, dejando un intervalo de dos años entre intervenciones permitiéndole al árbol recuperarse.

## 2.2.2 Raleos

### 2.2.2.1 Definición y objetivos

El raleo se define como la corta realizada en un cultivo forestal o rodal inmaduro, de modo de acelerar en forma primaria el incremento en diámetro y mejorar la conformación media de los árboles remanentes mediante una adecuada selección (Shepherd, 1986). Realizar esta práctica genera un rodal más rentable al final de su ciclo productivo, acelerando el desarrollo de atributos estructurales deseables como es el aumento en diámetro y altura.

Los objetivos que tiene el raleo son:

- control de la densidad del rodal (árboles/ha).
- Control de relaciones de competencia y tasas de incremento individual.
- Control de la calidad de los fustes: retirar individuos que han adquirido una forma no deseada.
- Cosecha anticipada a la corta final, aprovechando el material leñoso.
- Retorno financiero intermedio y/o máximo valor de venta de cosecha final.

### 2.2.2.2 Tipos de raleos

Existen distintos tipos de raleos según su criterio: por lo bajo, por lo alto, de selección y sistemático.

A continuación, se presenta en la Figura 2, cuatro imágenes que determinan el efecto de los distintos criterios de raleo sobre la distribución de clases diamétricas, considerando el DAP. En la imagen 1 se observa la distribución del raleo por lo bajo en el cual se eliminan las clases de copa de los árboles suprimidos e intermedio con algunos dominantes, en este caso la media poblacional luego del raleo aumenta. En la imagen 2 se observa la distribución del raleo por lo alto el cual tiene como objetivo la eliminación de árboles con características no deseables, sobre todo cuando estos se encuentran compitiendo con un árbol mejor que él. Se genera un rodal con dos doseles, existiendo copas subordinadas, copas intermedias y copas del dosel superior. La media poblacional en este caso disminuye luego del raleo. En la imagen 3 se observa la distribución del raleo de selección en el cual se eliminan aquellos árboles dominantes que poseen mala forma, al igual que en el caso anterior la media poblacional disminuye. Por último, en el gráfico 4 se observa la distribución del raleo sistemático en el cual se retiran filas enteras según su ubicación, sin importar sus características. Por ejemplo, rodales de alta densidad en los cuales se necesita hacer algún tipo de calle para poder entrar a ralear. En este caso la media poblacional se mantiene debido a que los árboles se retiran de forma pareja disminuyendo así su frecuencia.

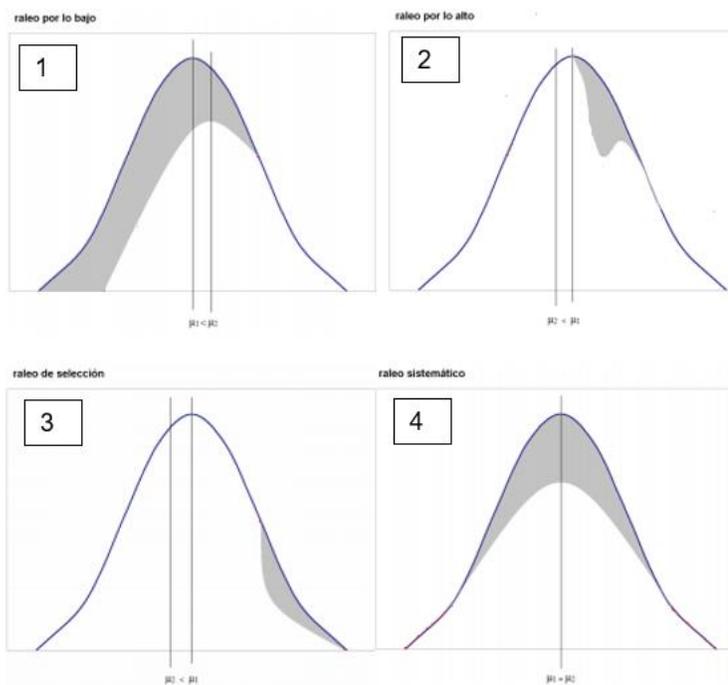


Figura 2. Efecto de método de raleo sobre la distribución de clases del DAP

Fuente: tomado de Shepherd (1986).

### 2.2.2.3 Prescripción de raleos

La ocasión oportuna para ralear depende de las condiciones del sitio y del rodal. El momento de inicio del ciclo de raleo ocurre cuando:

- el rodal presenta un alto nivel de sombreado haciendo que el sotobosque no reciba radiación solar directa.
- Acumulación del mantillo que se descompone a una tasa muy lenta.
- Los árboles dominantes y codominantes presentan un porcentaje de copa viva menor al 40%.
- Existen registros sobre parcelas permanentes que permiten calcular tasas de crecimiento en valores dasométricos muy bajas o nulas.

Según Methol et al. (2005) luego de hacer la comparación de los efectos de las podas y de los raleos sobre el crecimiento de *E. grandis* en Uruguay, se puede decir que la poda tiene mayor efecto que los raleos a edades menores a 5 años, mientras que los raleos tienen mayor efecto sobre los árboles luego de que se establece competencia entre ellos.

### 2.2.2.4 Efectos del raleo sobre el crecimiento del rodal

A partir de un estudio realizado por Cassidy et al. (2012) se puede observar el efecto del raleo en *Eucalyptus pilularis* en seis tratamientos, comenzando con un tratamiento control de 1.495 árboles por hectárea y progresivamente raleando a densidades finales de siembra de 700, 450, 250, 125 y 87 árboles por hectárea. Teniendo en cuenta el factor de crecimiento de DAP se puede decir que se vio significativamente afectado por la densidad de población en cada tiempo de medición durante la duración de la prueba. Los tratamientos con mayores densidades de población no lograron árboles con clases diamétricas altas, mientras que aquellos con densidades bajas si lo lograron. Teniendo en cuenta el factor de crecimiento en volumen se puede decir que los dos tratamientos con mayor densidad tuvieron volúmenes de árboles individuales significativamente más bajos que todos los demás tratamientos (Figura 3). Por otro lado, considerando el volumen por hectárea se puede decir que el volumen máximo en pie de madera siempre estuvo presente en el tratamiento control debido a que los demás tratamientos sufrieron eventos de raleos (Figura 4). Aquellos tratamientos con medias más bajas en volumen ofrecen árboles individuales con mayor valor monetario debido a la relación entre el tamaño del tallo y el valor potencial de los productos finales generados por el raleo.

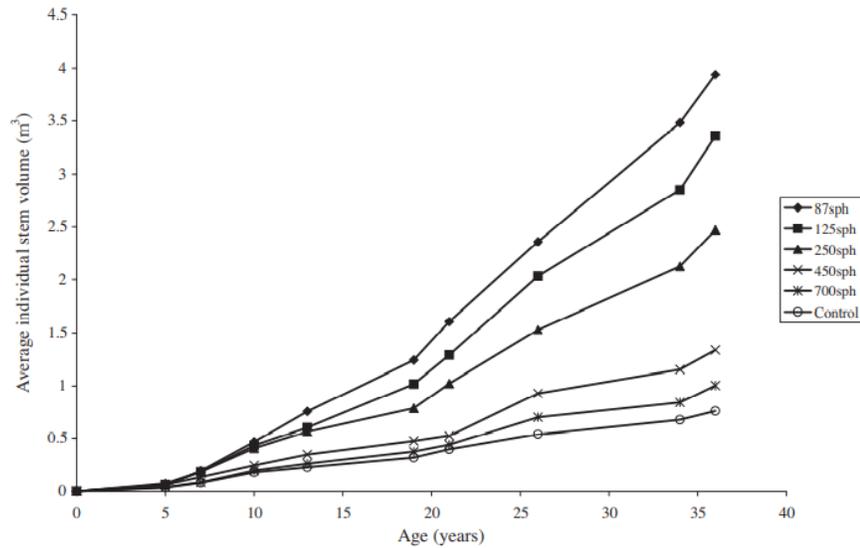


Figura 3. Volumen promedio de árbol individual (mcs) de *Eucalyptus pilularis* con seis medias finales que van desde un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años

Fuente: tomado de Cassidy et al. (2012).

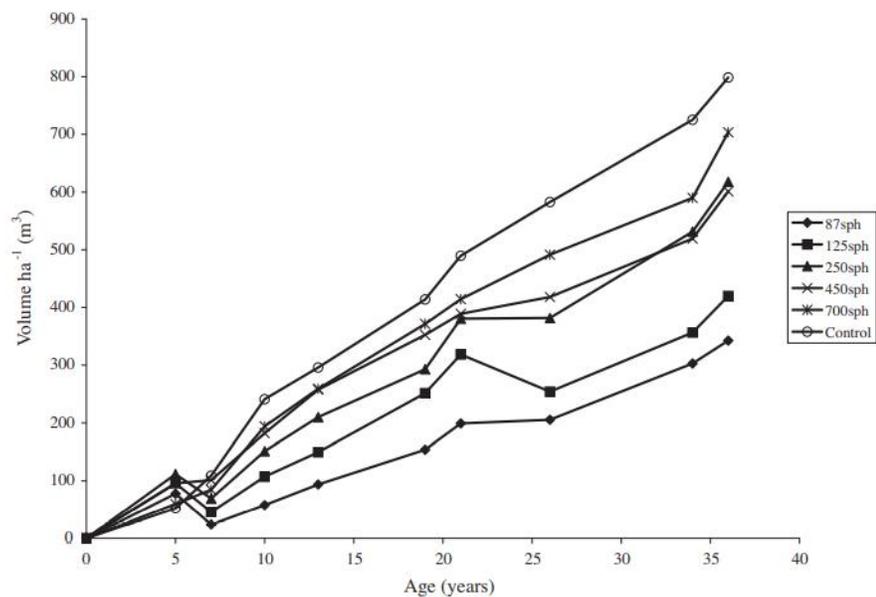


Figura 4. Volumen de madera en pie (mcs/ha) para de *Eucalyptus pilularis* con seis medias finales que van desde un testigo sin ralear de 1495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años

Fuente: tomado de Cassidy et al. (2012).

De acuerdo a un estudio realizado en Chile (Muñoz et al., 2005) para una plantación de *Eucalyptus nitens* de 14 años de edad, en el cual se evaluaron tres densidades finales de raleo: 1.100 árboles/ha (sin raleo), 800 árboles/ha y 400 árboles/ha. Así como también, se evaluaron tres alturas de podas: 0 m (sin poda), 3,5 m y 7,0 m. Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes tratamientos de poda y raleo sobre el crecimiento de diámetro, altura y volumen. Se puede decir que, en cuanto al efecto del raleo, el tratamiento con mayor intensidad (400 árboles/ha) presentó diferencias significativas con respecto a los otros tratamientos para las variables de DAP y volumen, sin importar el nivel de poda aplicado. Este tratamiento silvicultural afectó la respuesta de todas las variables evaluadas (DAP, altura y volumen) y en todos los periodos de medición. En cuanto al efecto de la poda, la misma no generó un efecto significativo en el crecimiento de las variables estudiadas independientemente del nivel de raleo aplicado. Su efecto se relaciona con la intensidad de poda y el momento en que se realice, en este caso se realizó a los 6 años de edad con ramas basales secas o en vía de secarse, razón por la cual se supone que no generó efectos en las variables bajo estudio. Por un lado, se puede decir que el raleo aumenta la tasa de crecimiento en diámetro de los árboles. Por otro lado, la poda no afectó el crecimiento de los árboles en el momento en que se realizó. A la edad final, los mayores volúmenes obtenidos se encuentran en los tratamientos más intensamente raleados sin influir la poda.

Según un ensayo de raleo en *Eucalyptus grandis* realizado por Methol (1999) en la ciudad de Tacuarembó en el cual se evaluaron tres intensidades de raleo y un testigo, con una población remanente de 450, 600, 750 y 1.000 árboles/hectárea. Se puede decir que los resultados obtenidos para el crecimiento en diámetro hasta los 15 meses de efectuados los raleos determinan que el mismo es mayor en las parcelas a las cuales se les realizó un raleo fuerte. En cuanto al crecimiento en altura, la altura media en el cuarto y quinto año tiende a ser mayor en el tratamiento con un raleo fuerte. Lo cual es esperable debido a que en este tratamiento se eliminaron los árboles pequeños traduciéndose en un aumento de la altura media. Por último, en cuanto al crecimiento en volumen en términos absolutos fue mayor en el tratamiento testigo mientras que el incremento porcentual fue mayor en el tratamiento en el cual se le realizó un raleo fuerte.

### 2.3 SISTEMAS SILVOPASTORILES

Un sistema se puede definir como un conjunto de elementos interrelacionados y coordinados para el logro de un objetivo determinado (Churchman, 1968). A partir de esta definición se puede determinar que un sistema silvopastoril es la interrelación entre árbol, pastura y animal, con el objetivo de obtener diversos productos tales como madera, carne, lana, entre otros. Se basan en la producción integrada de árboles y/o arbustos con pasturas y animales, generalmente rumiantes, siendo el conjunto de prácticas de uso de la tierra que combina el rubro forestal con agricultura y/o ganadería (Russo y Botero, 1996).

El silvopastoreo se puede describir como la integración intencional del ganado, forraje y árboles para un beneficio de producción, en la misma unidad de tierra. Esto se puede lograr mediante la incorporación de árboles en un área que contenga únicamente forraje o la producción de forraje en un bosque ya implantado. En cuanto a la incorporación de estos sistemas, se debe considerar la planificación y gestión de los mismos para lograr integrar de manera efectiva sus tres componentes. Teniendo en cuenta estas consideraciones y abordando los demás costos, un sistema silvopastoril puede generar una cantidad de beneficios ya sean productivos, ecológicos y financieros logrando así sostenibilidad en el sistema (Dyer et al., 2015).

Estos sistemas son una alternativa posible para muchos productores debido a la diversidad de condiciones en las que se pueden realizar. Los mismos ofrecen múltiples arreglos temporales y espaciales, proveyendo un amplio abanico de prácticas, donde los objetivos y énfasis productivos pueden ser diferentes (Fuchs, 2012).

Los sistemas silvopastoriles no son sistemas homogéneos, sino que existen varias maneras en que se puede integrar la producción forestal y ganadera (Bussoni et al., 2015). Según Murgueitio e Ibrahim (2009) en América Latina se han identificado 9 grupos de sistemas agroforestales:

- sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal;
- pastoreo de ganado en plantaciones forestales;
- cercos vivos;
- árboles dispersos en potreros;
- pasturas en callejones de árboles;
- cortinas o barreras contra el viento;
- sistemas silvopastoriles de alta densidad arbórea;
- sistemas de corte y acarreo: bancos de proteína puros o en policultivos de varios estratos, y
- bancos de energía.

Según Chizmar et al. (2020), la principal premisa de los sistemas silvopastoriles es que los sistemas mixtos pueden diversificar los ingresos, reducir los riesgos financieros y biológicos, y, aumentar las ganancias generales del establecimiento obteniendo productos maderables y no maderables. Se establece que la competencia entre árboles determina la rentabilidad de los sistemas silvopastoriles. A densidades moderadas los árboles pueden complementar la producción de pasturas para el ganado, pero a densidades altas la producción de la pastura va a descender notoriamente debido a la competencia por recursos, especialmente competencia por luz.

La interrelación entre árbol, pastura y animal genera beneficios en todos sentidos. En cuanto al componente animal aporta mayor protección contra vientos y radiación solar, contribuyendo a la disminución del estrés térmico y permitiendo una mayor ganancia diaria de peso por animal respecto a aquellos animales que no disponen de sombra (Calle

et al., 2012). A nivel de suelo mejora la tolerancia a los períodos de climas extremos (Murgueitio y Ibrahim, 2009), mientras que en términos económicos y productivos la diversificación de producción posibilita obtener ingresos adicionales (Cubbage et al., 2012).

Según Chizmar et al. (2020), los sistemas silvopastoriles diversifican las ganancias a través de la generación de productos: a corto plazo a partir de la producción de leche y carne y a largo plazo a partir de la producción de madera. Se puede concluir entonces, que estos sistemas aumentan las ganancias generando tanto productos maderables como productos no maderables, así como también promoviendo condiciones favorables para el ganado tales como abrigo y sombra lo cual permite mejorar las condiciones al parto. Por otro lado, estos sistemas proveen microclimas que permiten reducir el estrés térmico de los animales lo que lleva a mayores ganancias de peso diarias. Otra ventaja de estos sistemas es el secuestro de carbono por parte de los árboles. Según Chizmar et al. (2020) los sistemas silvopastoriles cambian la producción de forraje y la calidad del suelo debido a que aumentan la disponibilidad de nitrógeno y reducen la erosión. Las pasturas producidas en estos sistemas tienen mayor contenido de proteína ya que los animales aportan nitrógeno, fósforo y potasio al sistema a través de sus heces fertilizando el suelo.

A partir de un estudio realizado en Minnesota (Ford et al., 2019), en el cual se evaluó el potencial silvopastoril en tres sistemas: bosques no gestionados, sistemas silvopastoriles y pastizales abiertos se puede afirmar que los sistemas silvopastoriles produjeron mayor calidad de pasturas que los sistemas de pastos abiertos. Esto se debe principalmente a la condición micro climática modificada causada por la sombra de los árboles, obteniendo beneficios claros en este tipo de sistemas. En cuanto a la implementación de los bosques no manejados en el plan de rotación se concluye que estos no deben de ser incluidos ya que generan efectos negativos tanto económicamente por pérdida de valor en la madera como también ecológicamente generando un suelo compactado y erosionado a partir del ganado no manejado, contaminación del agua y destrucción de la regeneración natural del árbol. En cambio, un sistema silvopastoril planificado y bien gestionado es el que debe implementarse en aquellos bosques existentes para evitar dichos impactos negativos.

Por otro lado, según un estudio realizado por productores forestales y ganaderos en diferentes zonas de Estados Unidos (Davis y Rausser, 2020), se pudo demostrar que el silvopastoreo influye sustancialmente en el comportamiento de la pastura y la utilización de la misma. En el Sureste de Estados Unidos, son innumerables los problemas de calor que se presentan por lo que se han demostrado los beneficios que da la sombra disminuyendo el estrés animal. El ganado bajo sombra experimentó una ganancia diaria promedio 20% mayor que el ganado que se sometió a condiciones sin sombra. A su vez, se pudo constatar que las vacas bajo condiciones de sombra produjeron 19% más de leche que las que no se encontraban bajo dichas condiciones. En cuanto al rendimiento

reproductivo general del rodeo se pudo observar que el mismo aumentó a una tasa del 44,4% bajo sombra frente al 25,3% para el ganado pastoreando a campo abierto. El silvopastoreo disminuye el estrés animal aumentando así el bienestar ganadero (Shibu et al., 2019).

### 2.3.1 Sistemas silvopastoriles en Uruguay

A partir de un estudio realizado en Uruguay (Sancho et al., 2021) en el cual se evaluaron un total de 39 predios que se encuentran hoy en día bajo sistemas silvopastoriles, se puede afirmar que la característica predominante de los productores o empresas uruguayas es que parten de un giro principal de producción ganadera. Se ha comprobado que la producción forestal se ha incorporado fuertemente en el esquema productivo, pudiendo diferenciar dos grupos de productores: por un lado, productores que llevan ya varios años de experiencia a través del manejo de talleres y/o reforestación y la mayor parte e incluso la totalidad de su predio se encuentra destinado a la producción bajo sistemas silvopastoriles. Y, por otro lado, un grupo de nuevos productores con plantaciones recientes que han ido incorporando conceptos muy innovadores y que han adoptado los sistemas silvopastoriles como soporte y mejoramiento de su producción ganadera.

A través de los resultados obtenidos se observó que aproximadamente el 80% de la superficie se encuentra en la región Sureste, repartiéndose el resto entre el Centro-Sur con un 15,27% y el Norte con un 5,47% (Sancho et al., 2021). En cuanto a la principal especie utilizada se obtuvo que *Eucalyptus globulus* ocupa el 56,52% del total, este resultado se ve correlacionado con la zona donde se encuentra el mayor número de casos ya que la región Sureste se caracteriza por la producción de madera para celulosa, con turnos cortos (9-10 años) y densidades de plantación altas (800-1000 plantas por hectárea). En segundo lugar, con un 15,48% se encuentra *Eucalyptus smithii* que al igual que en el caso anterior se encuentra principalmente en la región Sureste como especie sustituta de la primera por problemas sanitarios que viene presentando *E. globulus*. El diseño espacial que predomina en los SSP en Uruguay es el de filas dobles o triples (87%) separadas por callejones de 6 a 8 metros. Respecto a la densidad de plantación se observa que la mayor parte supera los 900 árboles por hectárea. Sin embargo, las plantaciones más jóvenes se encuentran fuertemente correlacionadas con productores que identifican primariamente a la forestación como servicio a la ganadería y presentan los callejones más amplios (entre 12 y 20 metros) y las densidades por debajo de los 750 árboles por hectárea. Respecto al manejo silvicultural se observa que aproximadamente un 80% tienen como objetivo la producción de madera para la industria celulósica tanto para destino nacional como para exportación. A su vez, se observa que el turno de cosecha final en su mayoría oscila entre los 10 y 12 años. Estos resultados se ven claramente correlacionados con la especie de mayor superficie plantada (*E. globulus*) y su principal destino.

Por otro lado, en cuanto a los resultados obtenidos del manejo animal del mismo estudio (Sancho et al., 2021) se confirma que la base forrajera de los sistemas silvopastoriles en Uruguay es mayormente campo natural, existiendo casos en donde se realiza mejoramiento incorporando leguminosas (*Lotus spp.*). En cuanto a la dotación ganadera se percibió una dotación conservadora y acorde a la producción forrajera en un rango de 0,6 a 0,9 UG/ha. En cuanto a las técnicas de pastoreo se observa que en su mayoría predomina el pastoreo convencional continuo y existen algunos casos de productores con mayor experiencia en este tipo de sistemas que han incorporado el pastoreo rotativo.

Por su parte, Bussoni et al. (2019) confirman que la actividad integrada vacuna y forestal en un marco de plantación adecuado permite obtener los mejores rendimientos de cada uno de los componentes. A partir de este estudio se llega al resultado de que los sistemas que más integran la ganadería de acuerdo a los resultados de producción forrajera, son los sistemas de filas dobles: (2x2) + 8 m de callejón y (3x2) + 15 m de callejón en densidades de plantación de 1.000 árboles por hectárea y 555 árboles por hectárea, respectivamente. Estos sistemas permiten integrar y obtener ventajas productivas y financieras, con respecto a sistemas de producciones no integrados.

Teniendo en cuenta los aspectos motivacionales que han generado el aumento de adopción de los sistemas silvopastoriles en Uruguay se destacan dos fuertes estímulos (Sancho et al., 2021):

- la presencia de un grupo de interés económico, que tiene su área de influencia en la zona Sureste, constituido en los años 90 a partir de productores que unen la materia prima proveniente de su cosecha para comercializarlo en forma común. El grupo es abierto y han desarrollado una estrategia para captar productores ganaderos, a través de un diseño de SSP, que permite mantener el ganado en los predios, aunque el objetivo primordial es la obtención de madera para ser comercializada. Este caso determina el fuerte predominio, ya mencionado, en esta zona de *E. globulus*, con la paulatina sustitución por *E. smithii* por razones sanitarias, y la presencia de la mayoría de los diseños con callejones más angostos y densidades altas en el entorno de los 1.000 a 1.200 árboles por hectárea.
- Productores ganaderos que plantean que su motivación es la diversificación productiva y el bienestar animal. En este grupo se concentran mayoritariamente las plantaciones de *Eucalyptus grandis*, con manejos silviculturales de podas y raleos, callejones amplios y por ende densidades de plantación más bajas obteniendo como producto final madera de calidad.

## 2.4 ANTECEDENTES ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

La densidad de plantación y los tratamientos silvícolas influyen en los recursos de crecimiento disponibles para el árbol (Thomas et al., 2009) así como también el tamaño

y la forma de los troncos disponibles en el momento de la cosecha. El valor obtenido por el productor está determinado por el tamaño, la forma del tronco y la distribución de los defectos internos (Palmer, 2010). La obtención de productos de mayor valor se logra maximizando la diferencia entre el precio de venta y los costos de producción.

El valor final de la madera está determinado por la cantidad y el precio de los productos menos los costos de cultivo, cosecha y procesamiento (Nolan et al., 2005).

Según Methol (1999) hay zonas del país en las cuales se justifica más la producción de productos aserrables. Esto es debido a la distancia a los puertos lo cual determina los costos de flete, y a la productividad del sitio en cada zona. Tanto la zona Norte del país (Tacuarembó–Rivera) como la zona centro y litoral, son zonas en las cuales la alternativa de producción de madera aserrable es atractiva debido a las razones previamente mencionadas como una forma de aumentar el rendimiento económico de las actividades forestales.

A partir del estudio mencionado anteriormente realizado por Cassidy et al. (2012) en el cual se evaluó el efecto del raleo en *Eucalyptus pilularis* sobre características de crecimiento y valor de la madera se puede decir que aquellos tratamientos donde se realizaron raleos condujeron a la obtención de un valor actual neto (VAN) y una tasa interna de retorno (TIR) mayor, debido a que las densidades de población más bajas generaron árboles de diámetros mayores. Por lo tanto, una vez que se compensaron los costos de los tratamientos silvícolas, se obtuvo un aumento del VAN y la TIR (Figuras 5 y 6). La TIR óptima para aquellos tratamientos con mejores rendimientos ocurrió luego de los 26 años y posteriormente dicha tasa comenzó a estabilizarse, brindando a los administradores forestales flexibilidad en los últimos años de la rotación, ya que retrasar la cosecha final no tiene un efecto adverso sobre la rentabilidad. A partir de este estudio se puede afirmar que mayores volúmenes por hectárea no siempre equivalen a mayores retornos financieros. En algunas circunstancias, rodales reducidos a tasas de población más bajas pueden generar mayores rendimientos debido al mayor valor de trozas de diámetros superiores (Cassidy et al., 2012).

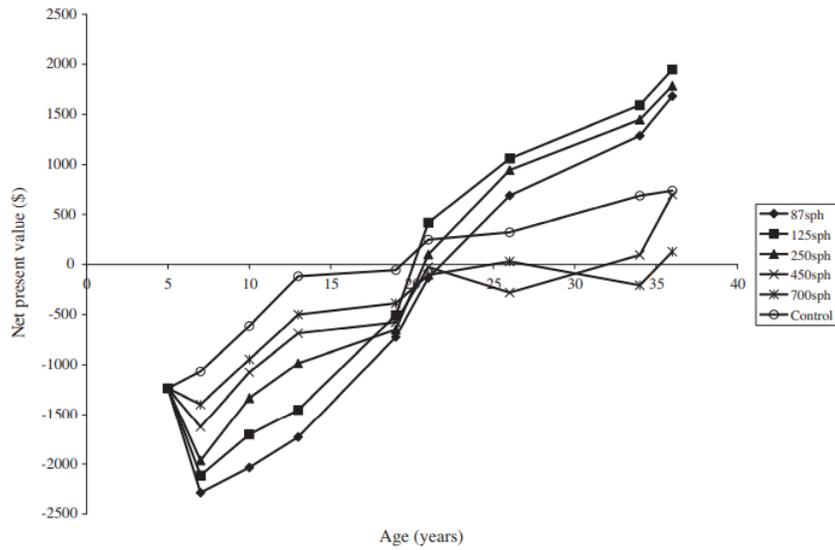


Figura 5. Valor actual neto de la madera en pie por hectárea a una tasa de descuento del 6% para cada tratamiento y medición de *Eucalyptus pilularis* cultivado en un ensayo con seis medias finales que van de un testigo sin raleo de 1.495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años

Fuente: tomado de Cassidy et al. (2012).

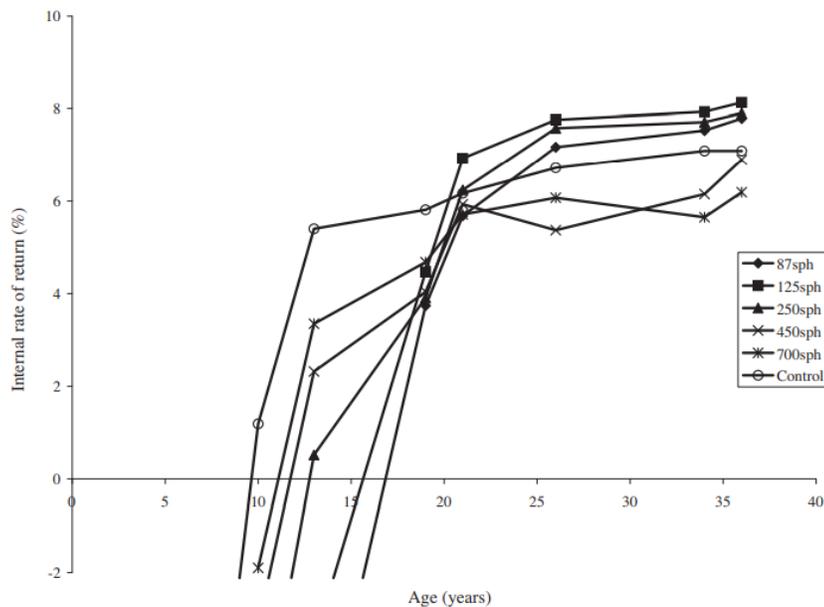


Figura 6. Tasa interna de retorno para cada tratamiento de *Eucalyptus pilularis* cultivado en un ensayo con seis medias finales que van de un testigo sin raleo de 1.495 árboles/ha a 87 árboles/ha a la edad de 36 años

Fuente: tomado de Cassidy et al. (2012).

## 2.5 HIPÓTESIS

En el presente trabajo se evaluaron dos intensidades de raleo en una plantación de *Eucalyptus grandis*: un primer sistema de 540 árboles/ha (S1) y un segundo sistema de 150 árboles/ha (S2).

En este contexto las hipótesis planteadas fueron:

- H1: el sistema forestal con dos raleos (S2) produce mayor volumen de trozas con destino aserrado y debobinado con respecto al sistema forestal con un solo raleo (S1).
- H2: el sistema S2 resulta en un mayor retorno económico y financiero con respecto al sistema S1.
- H3: existen diferencias significativas en diámetro a la altura de pecho (DAP), altura media (Hm) y volumen (V) entre sistema S1 y el sistema S2.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

El siguiente trabajo se desarrolló a partir de un estudio de caso situado en la localidad de Reboledo, departamento de Florida en el establecimiento “Santa Magdalena” ubicado sobre la ruta 7 en el kilómetro 120 (Figura 7). El establecimiento pertenece a inversionistas extranjeros y es administrado por técnicos a nivel nacional.

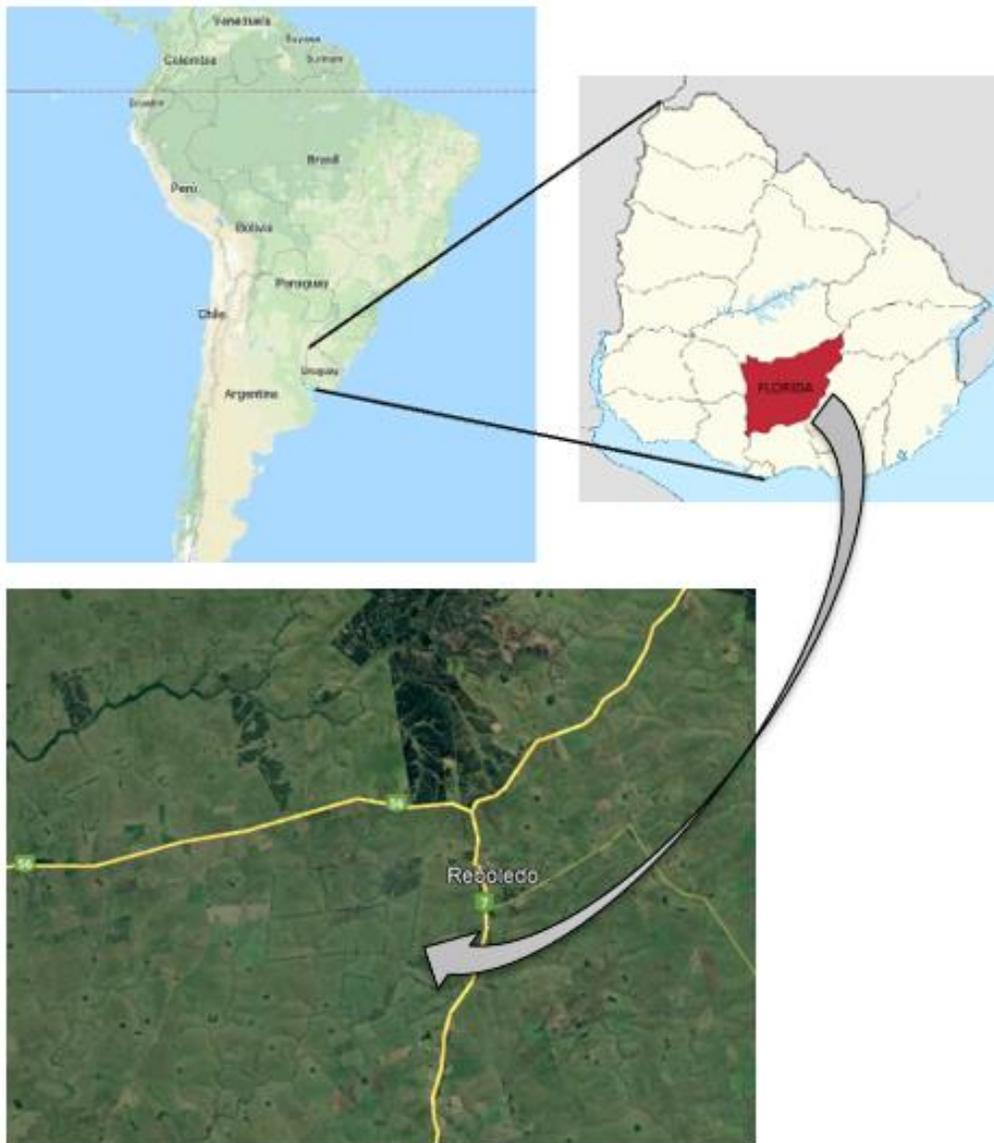


Figura 7. Ubicación del predio "Santa Magdalena"

Consta de 1.200 hectáreas destinadas principalmente a la ganadería vacuna y ovina. El sistema ganadero corresponde a ciclo completo, cerrado y se concluye con categorías producidas dentro del mismo predio. Se produce con las razas Hereford y Aberdeen Angus, también cuenta con producción ovina doble propósito de la raza Corriedale. A campo posee una carga animal de 0,9 unidades ganaderas (UG) por hectárea promedio, siendo la carga bovina 0,7 UG/ha y la carga ovina 0,20 UG/ha. La alimentación del ganado es en base a campo natural mejorado con *Lotus rincón*. A los terneros machos y a las terneras de mayor tamaño se los suplementa con 1 kg/día de ración luego del destete hasta la primavera.

A esta producción se le suma la producción forestal en sistemas silvopastoriles, con una densidad inicial de 620 árboles/ha. En el Cuadro 1 se puede observar el uso del suelo de acuerdo sus destinos:

Cuadro 1. Uso de suelo

Campo natural	43%
Campo natural mejorado	40%
Praderas y verdeos	5%
Silvopastoril	12%

Fuente: García Pintos (2021).

Los padrones correspondientes a este predio son: 954, 12007 y 12008. El grupo de suelos predominantes en la zona es CONEAT 5 (Figura 8). El grupo 5.02b es el más importante ya que ocupa más del 80% del predio. Según MGAP. RENARE (2019), el relieve es ondulado y ondulado fuerte, con pendientes modales de 5 a 7%. El material geológico corresponde a litologías variables de rocas predevonianas, como granitos, migmatitas, rocas metamórficas esquistosas, entre otras. Los suelos son Brunosoles Subéutricos Háplicos moderadamente profundos y superficiales, de textura liviana a franca, fertilidad media y presencia de fertilidad moderada (2 al 10% de la superficie con afloramientos rocosos).

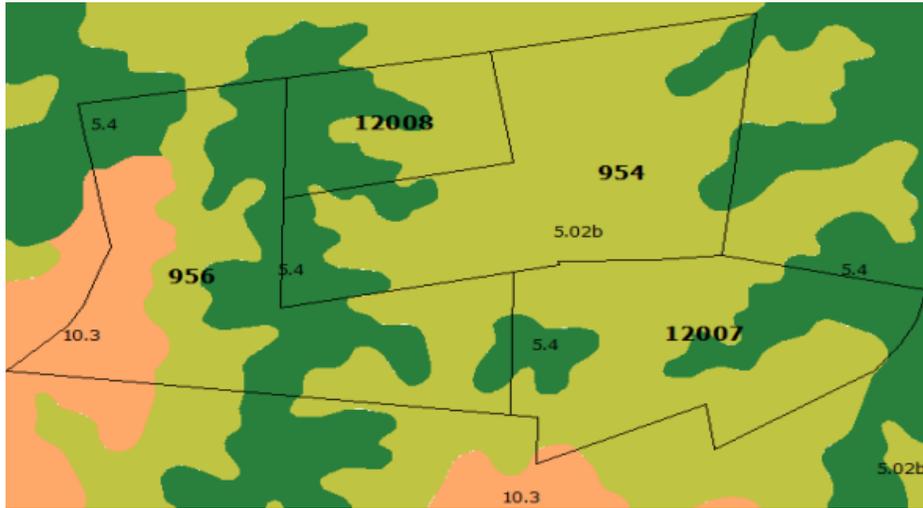


Figura 8. Ubicación de los padrones y tipos de suelos CONEAT

Fuente: tomado de MGAP. RENARE (2019).

La especie forestal utilizada corresponde a *Eucalyptus grandis* cuya procedencia es de semilla nacional (INIA). Características importantes de esta especie en nuestro país son su gran sanidad y su rápido crecimiento, el cual permite un ingreso anticipado al pastoreo por parte de los animales. Corresponden a plantaciones de primavera de los años 2012, 2013 y 2019. El sitio donde se ubican los árboles está pensado para favorecer su crecimiento con un diseño de callejones amplios de 20 metros y 3 filas a 3 metros de distancia aproximadamente y 2,5 metros de distancia entre los árboles (Figura 9) garantizando de esta manera poca competencia por agua, luz y nutrientes (Anexo 1).



Figura 9. Distribución de los árboles

Las plantaciones forestales tienen como destino principal madera sólida por lo que se efectuó manejo silvicultural de poda y raleo. Se realizaron tres podas, la primera fue llevada a cabo en enero 2016, la cual corresponde a una poda baja que se efectúa previo al ingreso del ganado alcanzando una altura de 2,5 metros; la segunda poda se realizó en enero 2018 alcanzando una altura de 4 metros y la tercera poda se realizó en mayo 2021 llegando a los 6 metros de altura. En cuanto a los raleos, se diferencian dos sistemas de manejo determinados, el sistema 1 con un solo raleo y el sistema 2 con dos raleos. El primer raleo se realizó en enero 2016 junto con la primera poda, el cual no tuvo ningún destino productivo más que uso doméstico debido a que la cantidad de volumen retirado no fue significativa, su propósito fue disminuir la densidad de plantación pasando de 620 árboles/ha a 540 árboles/ha y aumentar el espacio disponible para el crecimiento de los árboles remanentes. Mientras que, el segundo raleo fue realizado en enero 2020 llegando a una densidad final de 150 árboles/ha, obteniendo rolos de 4,5 metros de largo destinados principalmente a energía para industria local.

Según García Pintos (2021) su principal objetivo es diversificar la producción con una inversión y costos accesibles, de fácil aplicación que potencie al sistema sin generar disturbios ambientales, generando un impacto económico positivo, sin tener que disminuir la carga animal debido al aumento de las plantaciones forestales. La clave está en que la ganadería resuelva los temas de inmediatez y la forestación aporte incremento patrimonial y aumente la rentabilidad de todo el sistema.

### 3.2 DISEÑO DE LA MUESTRA

Se realizó un muestreo estratificado en el que se tomaron los datos de altura y DAP por parcela, por hectárea y por árbol, analizados a partir de un modelo lineal. El trabajo se llevó a cabo en un campo comercial, en una plantación ya establecida que no cumple con los principios de aleatorización y control local, ya que al momento de iniciar la investigación la plantación ya tenía las parcelas definidas.

### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las variables altura media (Hm) por parcela, DAP medio por parcela y volumen por hectárea se emplea el análisis de varianza con el objetivo de evaluar diferencias entre: la zona (Norte y Sur), el raleo (1 y 2) y la interacción entre los mismos. Para dichos factores se utilizó un p valor de 0.05. Los resultados obtenidos fueron proporcionados a partir del programa “R”.

En aquellas variables en donde se encontraron diferencias significativas se optó por realizar una prueba de comparación múltiple con el fin de obtener cuál de las dos situaciones genera mayores medias, tanto para el factor zona (Norte o Sur) como para el factor raleo (1 o 2).

Por último, se realiza un boxplot o diagrama de caja con el fin de resumir las características principales de los datos observados. En este gráfico se puede observar el valor de la mediana y el límite para la detección de valores atípicos.

Luego se analizaron los datos obtenidos por árbol en cada parcela con el fin de verificar si estos concuerdan con los resultados obtenidos previamente.

#### 3.3.1 Modelo estadístico para datos individuales

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + Z_j + (RZ)_{ij} + E_{ijk} + D_{ijkl}$$

$$E_{ijk} \sim N(0; \sigma^2 E)$$

$$D_{ijl} \sim N(0; \sigma^2 D)$$

Siendo:

- $i$  (nivel de raleo) = 1, 2
- $j$  (zona) = Norte, Sur
- $k$  (parcelas por zona) = 1, 2, 3, ..., 15
- $l$  (árboles dentro de cada combinación raleo- zona -parcela) = 1, 2, 3, ..., 56
- $\mu$ : media poblacional
- $R_i$ : efecto del  $i$ -ésimo nivel de raleo
- $Z_j$ : efecto de la  $j$ -ésimo zona
- $(RZ)_{ij}$ : interacción entre raleo y zona
- $E_{ijk}$ : error entre parcelas
- $D_{ijkl}$ : error entre árboles dentro de las parcelas

### 3.3.2 Modelo estadístico para datos por parcela

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + Z_j + (RZ)_{ij} + E_{ijk}$$

$$E_{ijk} \sim N(0; \sigma^2 E)$$

Siendo:

- $i$  (nivel de raleo) = 1, 2
- $j$  (zona) = Norte, Sur
- $k$  (parcelas por zona) = 1, 2, 3, ..., 15
- $l$  (árboles dentro de cada combinación raleo- zona-parcela) = 1, 2, 3, ..., 56
- $\mu$ : media poblacional
- $R_i$ : efecto del  $i$ -ésimo nivel de raleo
- $Z_j$ : efecto de la  $j$ -ésimo zona
- $(RZ)_{ij}$ : interacción entre raleo y zona
- $E_{ijk}$ : error entre parcelas

## 3.4 ESTUDIO DE CASO

Para la obtención de los datos a campo se midieron 15 parcelas de *Eucalyptus grandis* con 8 años de edad (plantación primavera 2012) elegidas al azar según su ubicación dentro del predio y la cantidad de raleos. En color rojo se indican aquellas

parcelas en las que se realizó un solo raleo y color verde aquellas en las que se realizaron dos raleos (Figuras 10, 11 y 12).

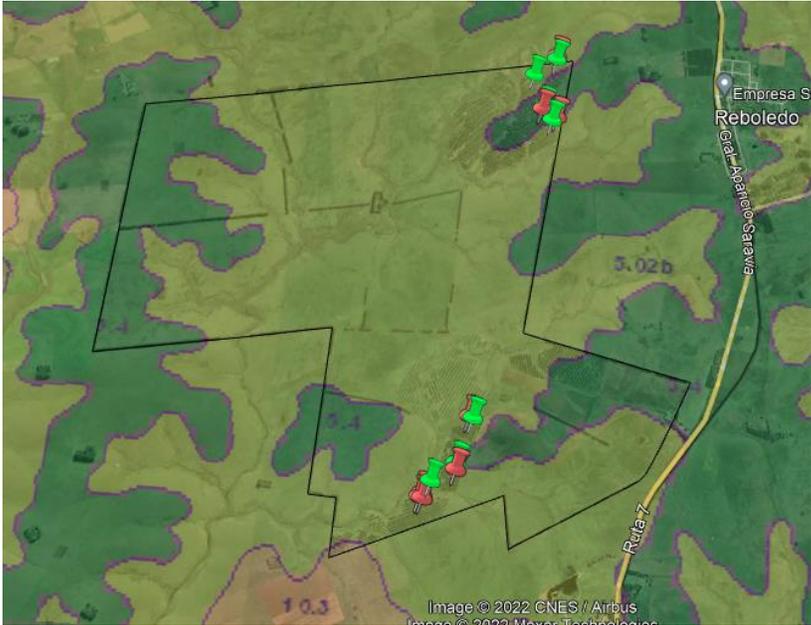


Figura 10. Ubicación de las parcelas

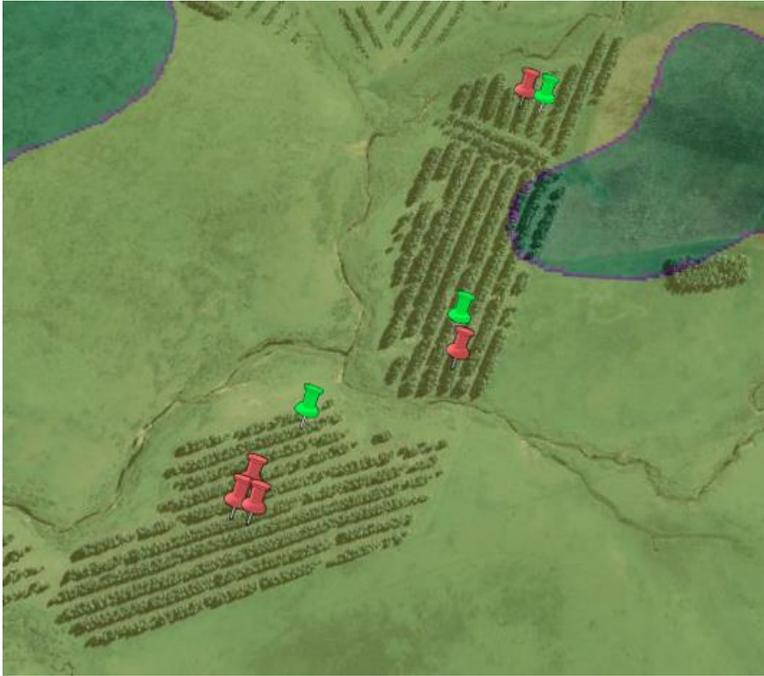


Figura 11. Ubicación de las parcelas localizadas en la zona Sur del predio



Figura 12. Ubicación de las parcelas localizadas en la zona Norte del predio

Se realizaron dos mediciones dasométricas: la primera en diciembre 2020 y la segunda en julio 2021. El tamaño promedio de las parcelas ubicadas dentro del sistema con un solo raleo fue de  $460 \text{ m}^2$ , mientras que, en el sistema con dos raleos al haber menor cantidad de árboles en pie el tamaño promedio fue de  $920 \text{ m}^2$ . Dentro de las parcelas se cuantificaron por individuo las siguientes variables: altura total (Ht) en metros, altura de copa (Hc) en metros y circunferencia a la altura de pecho (CAP) en centímetros.

La altura se determinó a partir del clinómetro electrónico Haglöf (Figura 13) el cual se adaptó a una distancia de 20 metros. El equipo calcula la distancia mediante trigonometría y elimina riesgos de error de cálculo y mala lectura de escala.



Figura 13. Clinómetro electrónico Haglöf

La CAP se midió con cinta métrica, colocándola a 1,3 metros de altura sobre el fuste. Teniendo en cuenta que este método se realiza de forma manual puede generar errores, pero a su vez tiene la ventaja de ser un método sencillo y de bajo costo.

A partir de estos datos se calcularon los valores de longitud de copa (Lc) en metros, DAP en centímetros, área basal (AB) en metros cuadrados y volumen total con corteza en metros cúbicos. Con los valores individuales se calcularon los valores por parcela, tomando en cuenta los metros cuadrados por parcela se obtuvo el factor de expansión y a partir de este y el volumen por parcela se obtuvo el volumen por hectárea (mcs/ha, Anexo 2).

### 3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

Para el presente análisis se optó por realizar un flujo de fondos con la finalidad de presentar de forma clara y sencilla la información de egresos e ingresos generados dentro del predio en un periodo de tiempo de 18 años, tomando como año 0 el año 2012 ya que fue cuando se realizó la plantación de la población bajo estudio.

De esta manera se obtuvo un informe de la situación financiera pudiendo conocer y evaluar la rentabilidad obtenida en los dos sistemas, a través de los siguientes indicadores financieros: valor actual neto (VAN), valor esperado del suelo (VES), tasa interna de retorno (TIR) y renta forestal anual (RFA). A partir de un estudio realizado en Estados Unidos por Busby et al. (2019) en el cual se construyen distintos portafolios de inversión para ciertos países del mundo se indica a que la tasa de retorno esperada para Uruguay es de un 7%. Para definir dicha tasa se tiene en cuenta: la cantidad de empresas inversoras en el sector forestal, especies utilizadas y el mercado forestal en Uruguay. Por este motivo los resultados de los indicadores financieros fueron realizados con una tasa de interés del 7%.

El VAN corresponde a la suma de dinero que rinde el proyecto en relación a la tasa de descuento, si el valor obtenido es mayor a cero se genera una ganancia por encima de los costos de operación, la inversión y el costo de oportunidad del inversionista (Álvarez y Falcao, 2011).

$$VAN = \sum_{t=0}^T \left( \frac{Fn_t}{(1+i)^t} \right)$$

Donde,

$Fn_t$  es el flujo neto en el año  $t$ ,  $i$  es la tasa de descuento (%).

La TIR es la rentabilidad de la inversión. Hace referencia a la tasa de interés a la cual se iguala el valor actual de los ingresos con el valor actual de los egresos generados.

$$0 = \sum_{t=0}^T \left( \frac{Fn_t}{(1+i)^t} \right)$$

El VES es el valor del suelo forestal sin considerar el vuelo forestal, lo que expresa el potencial productivo económico del rubro, ya que es la actualización de las infinitas rentas forestales periódicas (Boscana y Bussoni, 2019). Es el indicador mayormente utilizado para comparar proyectos forestales.

$$VES = \frac{VAN * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

La renta forestal anual que se deriva del VES, es el equivalente a la renta anual derivada de la producción forestal. Permite comparar con otras actividades productivas al anualizar los beneficios periódicamente.

$$RFA = VES * Tasa\ de\ interés\ (i)$$

Como primera situación se analizó el sistema 1 en el cual se realizó un solo raleo y como segunda situación se analizó el sistema 2 en el cual se realizaron dos raleos. Por lo tanto, en esta última situación se tuvo en cuenta el egreso generado a los 8 años por la realización del segundo raleo y el ingreso generado a partir de la venta de madera destinada principalmente para energía. Adicionalmente la principal diferencia entre estos sistemas es el producto final obtenido. Para conocer el destino de madera que no cumple las condiciones de madera aserrada se realizó un estudio de mercado por el administrador del predio en cual se evaluaron los siguientes destinos: pulpa de celulosa, madera con destino energía a cámara de frigorífico y puntales. Teniendo en cuenta los distintos precios se decidió destinar dicha madera a puntales ya que al ser un volumen de cosecha bajo el precio de la pulpa de celulosa no generaría grandes ingresos; por otro lado, el precio de la madera con destino a energía era inferior al de puntales. A partir del manejo realizado en el sistema 1 se obtendrá como producto principal madera para puntales y como producto secundario madera aserrada. Mientras que, en el sistema 2 sucede lo contrario. Los volúmenes de cosecha y raleo obtenidos fueron generados a partir de las simulaciones realizadas en el SAG de INIA (Anexos 3 y 4). Para dichas simulaciones se utilizaron los datos promedios por tratamiento de: edad, población, DAP medio inicial, área basal inicial, DAP máximo inicial, desvío estándar inicial DAP, altura media dominante inicial e índice de sitio.

Los precios de insumos para el flujo de fondos tales como plantines, agroquímicos, laboreo de suelo y control de hormigas y malezas son tomados de la lista de precios obtenida de Boscana y Arriaga (2021a, 2021b).

En el predio bajo estudio se llevó a cabo una plantación llave en mano, esto quiere decir que se contrató a una empresa tercerizada la cual se encargó completamente de la primera etapa de plantación comprendiendo la garantía de prendimiento y el cuidado hasta los seis meses de edad de los árboles. Los costos aproximados de este tipo de plantación con el paquete de llave en mano varían entre los 600 a 700 dólares por hectárea. Resumidamente este paquete comprende:

- control de hormiga inicial sistemático y localizado;
- marcación de filas;
- laboreo en la fila de plantación a partir de un subsolado agrícola de 50-60 cm de profundidad, disqueras alomadas, rastras afinadoras y encanteradoras;
- aplicación de herbicidas totales y preemergentes en la fila previo a la plantación;
- plantación;
- fertilización manual;
- de ser necesario, se realiza una nueva aplicación de herbicidas selectivos en la fila de plantación;
- por último, se realizó el replante de aquellas plantas que no sobrevivieron.

Los gastos mencionados anteriormente en el flujo de fondos se plantearon por separado para obtener una información más detallada de las labores realizadas a campo. Se consideran costos anuales de 20 US\$/ha/año que incluyen impuestos y tasas municipales.

La madera sólida obtenida se decidió destinar para exportación. La cosecha final se llevará a cabo a los 18 años teniendo en cuenta que el objetivo principal de la producción es madera para uso de aserrío. El manejo forestal realizado determina que los árboles con destino sólido tengan un mayor diámetro y altura al tener menor competencia y permitir su crecimiento durante más años en comparación a aquellas plantaciones destinadas principalmente para puntales.

Se consideraron los siguientes precios de mercado para aserrado y puntales a obtener en la cosecha (Cuadros 2 y 3). El precio de trozas para aserrado tiene en cuenta un costo del 10% por tasa portuaria y un 5% por gastos de comercialización.<sup>1</sup> El ingreso de 35 US\$/mcs generado a partir de la venta de puntales tiene en cuenta los costos de cosecha y transporte por este motivo fue que no se añadieron al flujo de fondos.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tamosiunas, M. 2022. Com. personal.

<sup>2</sup>Annunziatto, W. 2015. Com. personal.

Cuadro 2. Precios considerados de cosecha y flete

<b>Costos</b>	
Cosecha madera aserrada (US\$/mcs)	13
Flete madera aserrada (US\$/ton/km)	0,11

Fuente: tomado de ASECFUR (2020), MGAP. DGF (2021).

Cuadro 3. Precio de madera considerados

<b>Precio</b>	
Trozos para aserrado (US\$/mcs)	115,6
Trozos para puntales (US\$/mcs)	35

Fuente: tomado de Annunziatto<sup>2</sup>, MGAP. DGF (2021).

Teniendo en cuenta que la intensidad en el segundo raleo fue muy alta se decidió realizar una nueva simulación hipotética para poder comparar si los resultados financieros generan grandes diferencias entre el S2 y el nuevo sistema denominado S3. Según van Hoff (2004) en el segundo raleo generalmente llamado “raleo comercial” son retirados el cincuenta por ciento de los árboles existentes. Por lo cual en la nueva simulación se plantea una densidad final de 270 árboles/ha luego del segundo raleo. A partir de los volúmenes de cosecha obtenidos (tanto para el segundo raleo como para la cosecha final) se podrá definir cuál es el mejor escenario teniendo en cuenta la intensidad del segundo raleo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentará un resumen de los resultados obtenidos a partir del programa “R” teniendo en cuenta tres escalas de tamaño: árbol, parcela y hectárea. Comenzando con un análisis de varianza realizado para cada variable de interés (Hm, DAP y V) según la interacción con la zona, la cantidad de raleos y la combinación generada de zona:raleo. En aquellos casos en donde se encontraron diferencias significativas se realizó una prueba de comparación múltiple con el objetivo de identificar cuál de estas combinaciones genera mejores resultados. El ranking se puede observar a partir de la columna “group” en los cuadros presentados a lo largo del capítulo. En aquellas situaciones en donde la letra (A o B) cambia se debe a que existen diferencias significativas en las medias y, por lo tanto, una de las opciones se diferencia al obtener resultados superiores. Por último, se presenta un gráfico de barras con el fin de lograr una mayor comprensión de los datos obtenidos, en este adicionalmente se puede observar el valor de la mediana y el límite generado por valores atípicos.

Por otro lado, se presentará un resumen de los resultados financieros obtenidos a través del flujo de fondos y aquellos indicadores logrados en los dos sistemas (S1 y S2). A su vez, se presentarán los indicadores obtenidos en el sistema S3.

#### 4.1.1 Resultados estadísticos por parcela

Cuadro 4. Análisis de varianza para el factor altura

	<b>Sum Sq</b>	<b>Df</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	
(Intercept)	1135,69	1	629,7124	4,63E-11	***
Zona	1,05	1	0,5827	0,4613	
Raleo	1,72	1	0,9521	0,3502	
Zona:Raleo	0,06	1	0,0350	0,855	
Residuals	19,84	11			

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Suma de cuadrados (Sum sq), Grados de libertad (Df), F crítico (F value) y p-valor (Pr).

A partir del análisis de varianza llevado a cabo para el factor altura se obtuvieron valores mayores al nivel de significancia (p valor = 0,05) por lo que, en ninguno de los casos se generan diferencias significativas. Esto quiere decir que independientemente de

la cantidad de raleos y la zona en donde se encuentre la plantación los valores de altura van a ser similares (Cuadro 4).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el factor DAP

	<b>Sum sq</b>	<b>Df</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	
(Intercept)	1630,53	1	461,6901	2,473E-10	***
Zona	13,62	1	3,857	0,075309	
Raleo	41,02	1	11,615	0,005845	**
Zona:Raleo	0,31	1	0,0872	0,773300	
Residuals	38,85	11			

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 6. Análisis de varianza para el factor DAP

	<b>Sum sq</b>	<b>Df</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	
(Intercept)	2359,41	1	723,077	4,30E-12	***
Zona	31,78	1	9,738	0,0088452	**
Raleo	75,47	1	23,128	0,0004268	***
Residuals	39,16	12			

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 7. Medias ajustadas del DAP según la cantidad de raleos

<b>Raleo</b>	<b>emmean</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
1	22	0,650	12	20,6	23,4	A
2	26,6	0,686	12	25,1	28,1	B

Medias marginales estimadas (emmean), el error estándar (SE), límites inferior y superior del intervalo de confianza (lower.CL y upper.CL) y grupos (.group).

Cuadro 8. Medias ajustadas del DAP según la zona

<b>Zona</b>	<b>emmean</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower. CL</b>	<b>upper. CL</b>	<b>.group</b>
Sur	22,8	0,650	12	21,4	24,2	A
Norte	25,8	0,686	12	24,3	27,3	B

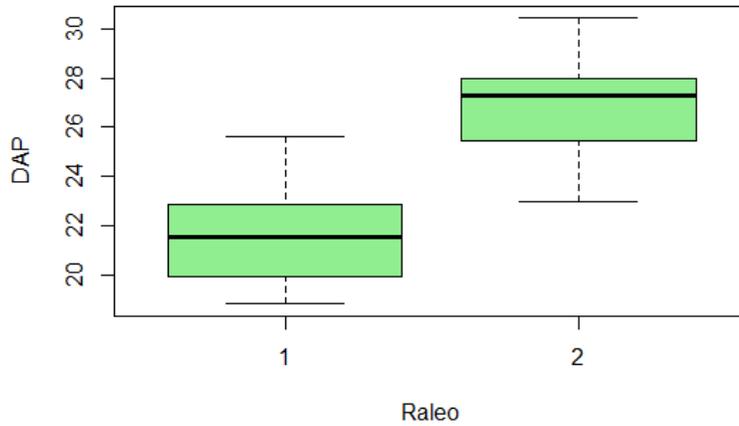


Figura 14. Variación del DAP en función del raleo

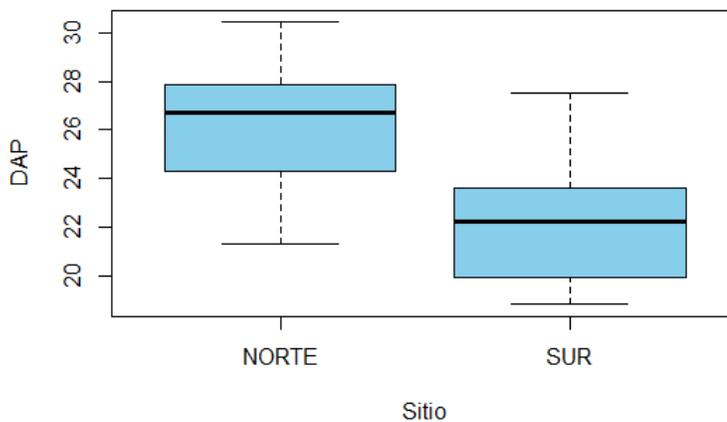


Figura 15. Variación del DAP en función de la zona

Para la variable DAP medio por parcela en primera instancia se realizó un análisis de varianza tomando en cuenta los factores (raleo y zona) por separado y su interacción. Al no encontrarse diferencias significativas en la interacción de los mismos (Cuadro 5) se realizó un análisis sin tener en cuenta dicha interacción, obteniendo diferencias significativas en el factor zona y el factor raleo (Cuadro 6). A partir de las medias ajustadas (Cuadros 7 y 8) y los gráficos (Figuras 14 y 15) se llegó a la conclusión de que en el sistema S2 y en la zona Norte es donde se obtienen mayores valores de DAP.

#### 4.1.2 Resultados estadísticos por hectárea

Cuadro 9. Análisis de varianza para el factor volumen

	<b>Sum sq</b>	<b>Df</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	
(Intercept)	51932	1	104,0465	6,062E-07	***
Zona	1070	1	2,1444	0,17108	
Raleo	4135	1	8,2844	0,01502	*
Zona:Raleo	47	1	0,0934	0,76562	
Residuals	5490	11			

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 10. Análisis de varianza para el factor volumen

	<b>Sum sq</b>	<b>Df</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	
(Intercept)	71627	1	155,234	3,179E-08	***
Zona	1501	1	3,252	0,096485	
Raleo	7380	1	15,994	0,001764	**
Residuals	5537	12			

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 11. Medias ajustadas del volumen según la cantidad de raleos

<b>Raleo</b>	<b>Emmean</b>	<b>SE</b>	<b>dt</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
2	73,8	8,16	12	56,1	91,6	A
1	119,2	7,73	12	102,4	136,0	B

Cuadro 12. Medias ajustadas del volumen según la zona

<b>Zona</b>	<b>Emmean</b>	<b>SE</b>	<b>df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
Sur	86,3	7,73	12	69,5	103	A
Norte	106,7	8,16	12	89,0	125	A

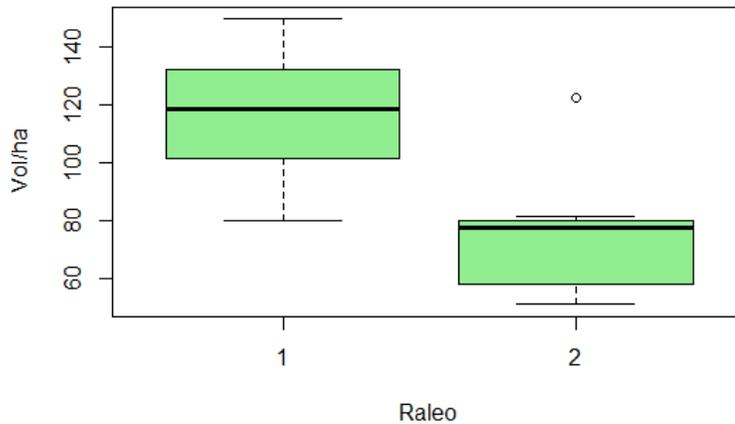


Figura 16. Variación del volumen por hectárea en función de la cantidad de raleos

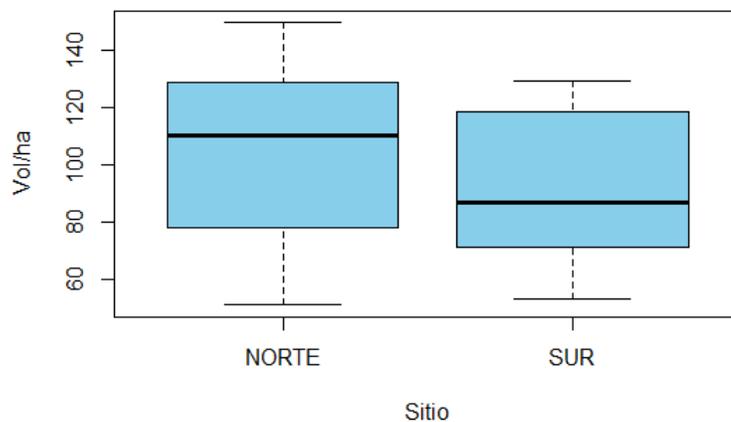


Figura 17. Variación del volumen por hectárea en función de la zona

Tomando en cuenta el factor volumen por hectárea se observa que no se encontraron diferencias significativas en la interacción zona:raleo (Cuadro 9) por lo tanto, se realizó un segundo análisis de varianza analizando los factores individualmente. En este último análisis se observó que existen diferencias significativas en el factor raleo, sin observarse diferencias en el factor zona (Cuadro 10). A partir de las medias ajustadas (Cuadros 11 y 12, Figuras 16 y 17) se llegó a la conclusión de que el sistema con un solo raleo es en donde se obtienen mayores volúmenes independientemente de la zona donde se encuentre.

#### 4.1.3 Resultados estadísticos por árbol

Cuadro 13. Análisis de varianza para el factor altura

	<b>F</b>	<b>Df</b>	<b>Df.res</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
(Intercept)	633,3496	1	10,966	4,736E-11
Zona	0,5412	1	10,818	0,4776
Raleo	1,0497	1	11,189	0,3272
Zona:Raleo	0,0526	1	11,066	0,8228

\*\*\*

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 14. Medias ajustadas de la altura según la cantidad de raleos

<b>Raleo</b>	<b>Emmean</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
1	19,1	0,459	11,7	18,1	20,1	A
2	20,0	0,492	12,4	18,9	21,0	A

Cuadro 15. Medias ajustadas de la altura según la zona

<b>Zona</b>	<b>Emmean</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
Sur	19,1	0,461	11,8	18,1	20,1	A
Norte	20,0	0,491	12,3	18,9	21,0	A

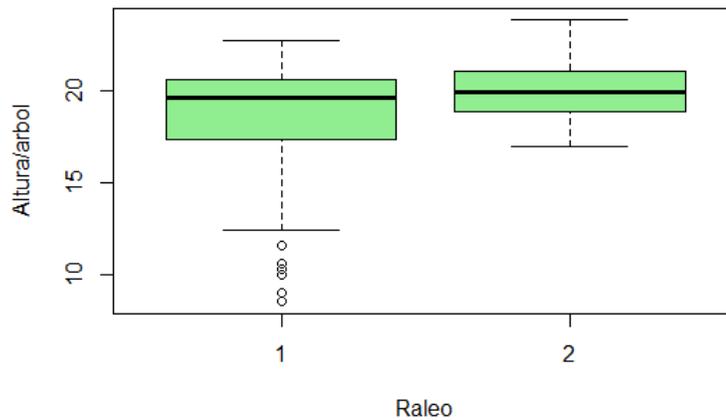


Figura 18. Variación de la altura por árbol en función de la cantidad de raleos

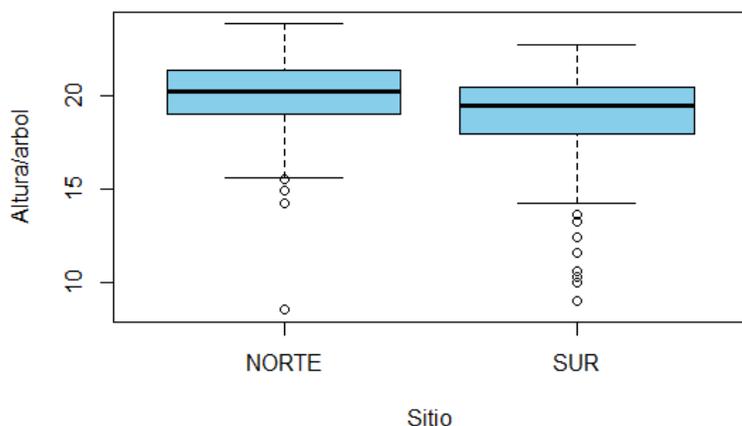


Figura 19. Variación de la altura por árbol en función de la zona

Luego, se analizaron los datos individuales obtenidos por árbol por parcela. En primer lugar, se evaluó la altura y los resultados confirman lo hallado anteriormente para altura por parcela, que no existen diferencias significativas entre la interacción de altura por zona y por raleo, ni tampoco tomando estos factores de manera individual (Cuadros 13, 14 y 15, Figuras 18 y 19).

Cuadro 16. Análisis de varianza para el factor DAP

	<b>F</b>	<b>Df</b>	<b>Df.res</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	
(Intercept)	469,4323	1	10,925	2,521E-10	***
Zona	3,8166	1	10,675	0,077444	.
Raleo	12,2247	1	11,325	0,004794	**
Zona:Raleo	0,1528	1	11,101	0,703247	

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 17. Análisis de varianza para el factor DAP

	<b>F</b>	<b>Df</b>	<b>Df.res</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	
(Intercept)	727,0431	1	11,990	4,228E-12	***
Zona	9,9152	1	12,048	0,0083559	**
Raleo	23,353	1	12,080	0,0004026	***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 18. Medias ajustadas del DAP según la cantidad de raleos

Raleo	Emman	SE	Df	lower.CL	upper.CL	.group
1	22	0,641	11,5	20,6	23,4	A
2	26,6	0,693	12,6	25,1	28,1	B

Cuadro 19. Medias ajustadas del DAP según la zona

Zona	Emman	SE	Df	lower.CL	upper.CL	.group
Sur	22,8	0,643	11,7	21,4	24,2	A
Norte	25,8	0,69	12,4	24,3	27,3	B

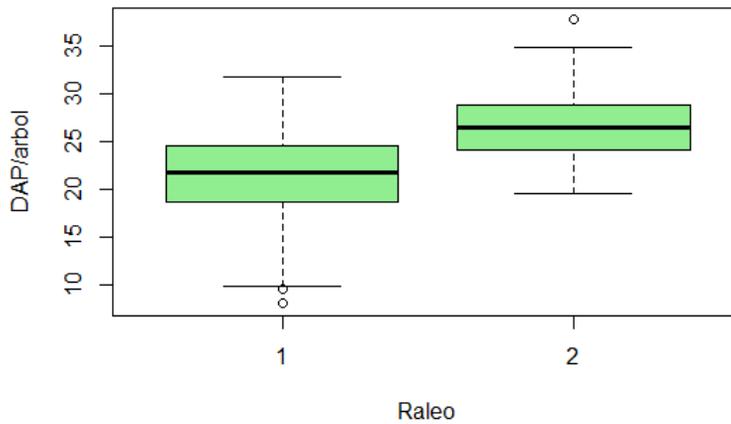


Figura 20. Variación del DAP por árbol en función de la cantidad de raleos

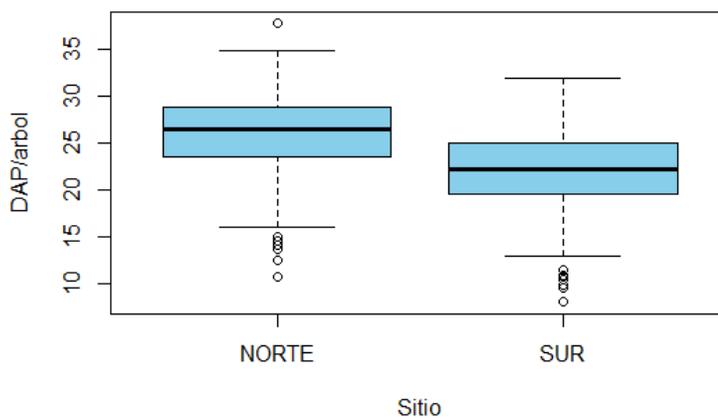


Figura 21. Variación del DAP por árbol en función de la zona

En segundo lugar, se evaluó el factor DAP por árbol en el que se obtuvieron resultados similares a los analizados por parcela, se encontraron diferencias significativas en el factor zona y en el factor raleo. Confirmando que el sistema con dos raleos y la zona Norte son aquellas condiciones que generan mayores DAP (Cuadros 16, 17, 18 y 19, Figuras 20 y 21).

Cuadro 20. Análisis de varianza para el factor volumen

	<b>F</b>	<b>Df</b>	<b>Df.res</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	
(Intercept)	64,6935	1	10,965	6,33E-06	***
Zona	2,1184	1	10,814	0,17395	
Raleo	8,2178	1	11,192	0,01509	*
Zona:Raleo	0,4742	1	11,067	0,50525	

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 21. Análisis de varianza para el factor volumen

	<b>F</b>	<b>Df</b>	<b>Df.res</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	
(Intercept)	104,8016	1	12,004	2,77E-07	***
Zona	7,3229	1	12,04	0,01905	*
Raleo	12,2742	1	12,056	0,00433	**

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Cuadro 22. Medias ajustadas del volumen según la cantidad de raleos

<b>Raleo</b>	<b>Emman</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
1	0,317	0,0268	11,7	0,259	0,376	A
2	0,456	0,0287	12,4	0,394	0,518	B

Cuadro 23. Medias ajustadas del volumen según la zona

<b>Zona</b>	<b>Emman</b>	<b>SE</b>	<b>Df</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>	<b>.group</b>
Sur	0,333	0,0268	11,8	0,274	0,392	A
Norte	0,44	0,0286	12,2	0,378	0,502	B

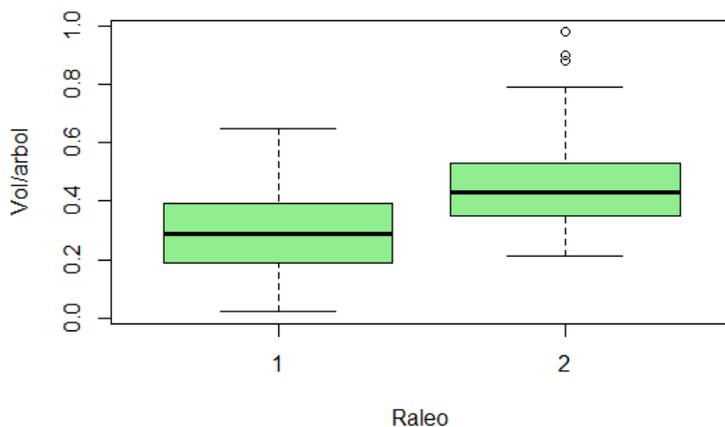


Figura 22. Variación del volumen por árbol en función de la cantidad de raleos

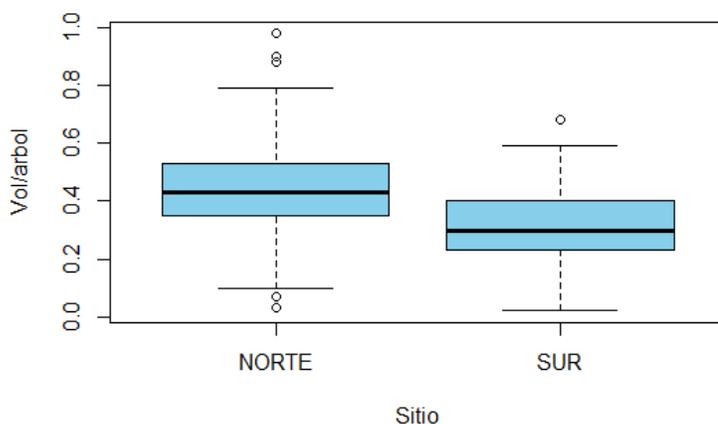


Figura 23. Variación del volumen por árbol en función de la zona

Por último, se evaluó el factor volumen por árbol, el cual mostró resultados que sugieren que el sistema con dos raleos alcanza un mayor volumen, siendo este contradictorio al resultado obtenido por hectárea (Cuadros 20, 21, 22 y 23, Figuras 22 y 23). Esto puede ser explicado debido a la gran cantidad de árboles eliminados a partir del segundo raleo, pasando de una densidad de 540 árboles/ha a 150 árboles/ha. Por lo tanto, al analizar esta situación de manera individual se observó que por árbol el volumen es mayor ya que aquellos árboles remanentes fueron beneficiados a partir de una menor densidad y por lo tanto una menor competencia. Por otro lado, si se analiza la misma situación en una escala mayor (hectárea) se puede decir que la cantidad de árboles quitados fue muy alta, por lo tanto, no se generó una compensación en el volumen por hectárea. Por otro lado, en cuanto al factor zona se observa que en el Norte se obtiene un mayor volumen por árbol esto puede ser explicado a partir de las diferencias del sitio, el cual

hace referencia a la combinación de suelo y clima siendo estas homogéneas para el crecimiento del rodal. A partir de los resultados se puede deducir que el sitio de la zona Norte genera condiciones más favorables para el crecimiento de los árboles.

#### 4.1.4 Resultados financieros por superficie total

A partir de la simulación llevada a cabo con el SAG de INIA se obtuvieron los siguientes resultados de volumen cosechado para madera aserrada y puntales (Cuadro 24).

Cuadro 24. Volumen de cosecha

<b>Sistema 1</b>		<b>Sistema 2</b>	
Cosecha para aserrado (mcs)	1.540	Cosecha para aserrado (mcs)	26.760
Cosecha para puntales (mcs)	28.110	Cosecha para puntales (mcs)	4.930

A continuación, se presenta un resumen del flujo de fondos del sistema 1 y 2, el flujo neto incremental (S2 vs. S1) y sus indicadores financieros, teniendo en cuenta la superficie total de plantación (Cuadros 25 y 26, Anexos 5 y 6).

Cuadro 25. Flujo neto incremental (US\$) entre el S1 y S2

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>
Flujo neto de caja S1	- 291.738	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 41.400
Flujo neto de caja S2	- 291.738	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 41.400
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>
Flujo neto de caja S1	- 2.000	- 34.400	- 2.000	- 2.000	- 45.200
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 34.400	- 2.000	103.160	- 14.000
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>105.160</b>	<b>31.200</b>

	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>
Flujo neto de caja S1	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 15</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>
Flujo neto de caja S1	- 2.000	- 2.000	- 2.000	2.578.454
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 2.000	- 2.000	2.724.586
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>146.132</b>

Cuadro 26. Indicadores financieros del S1 y S2

	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>
VAN (US\$)	376.461,26	497.871,25
TIR (%)	11,47%	12,85%
VES (US\$)	534.642,75	707.066,81
RFA (US\$)	37.424,99	49.494,68

A partir de los valores obtenidos se puede observar que el VAN en ambos sistemas es positivo, esto quiere decir que el flujo neto incremental genera ganancias por lo que ambos manejos obtienen resultados financieros por encima del costo de oportunidad empleado. Existe una diferencia de 121.410 dólares superior en el sistema 2. Esta diferencia es generada en el año 8 debido al ingreso ocasionado por el segundo raleo el cual fue destinado principalmente para energía y en el año 18 a partir del ingreso generado por la cosecha la cual fue destinada principalmente para madera de calidad.

La TIR hace referencia a la rentabilidad que ofrece la inversión, es decir, el porcentaje de beneficio o pérdida generado. Cuanto mayor es el valor de la TIR mayor será su rentabilidad. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que el sistema 2 es aquel que ofrece una mayor rentabilidad generando un valor del 1,38% mayor que en el sistema 1.

En cuanto al VES y a la RFA se puede observar que ambos indicadores en el sistema 2 son mayores, esto se debe a que para su cálculo se tiene en cuenta el VAN, el cual es mayor en dicho sistema. Las diferencias obtenidas del VES y la RFA de ambos sistemas son de 172.424,05 dólares y 12.069,68 dólares al año respectivamente.

#### 4.1.5 Resultados financieros por hectárea

Por otro parte, se presenta el flujo de fondos del sistema 1 y 2, el flujo neto incremental (S2 vs. S1) y sus indicadores financieros calculados por hectárea (Cuadros 27 y 28, Anexos 7 y 8).

Cuadro 27. Flujo neto incremental (US\$/ha) entre el S1 y S2

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>
Flujo neto de caja S1	- 3.095	- 20	- 20	- 20	- 414
Flujo neto de caja S2	- 3.095	- 20	- 20	- 20	- 414
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>
Flujo neto de caja S1	- 20	- 344	- 20	- 20	- 452
Flujo neto de caja S2	- 20	- 344	- 20	1.032	- 140
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>1.052</b>	<b>312</b>

	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>
Flujo neto de caja S1	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20
Flujo neto de caja S2	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 15</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>
Flujo neto de caja S1	- 20	- 20	- 20	25.785
Flujo neto de caja S2	- 20	- 20	- 20	27.246
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>1.461</b>

Cuadro 28. Indicadores financieros del S1 y S2

	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>
VAN (US\$/ha)	3.587,20	4.801,30
TIR (%)	11,16%	12,50%
VES (US\$/ha)	5.094,46	6.818,70
RFA (US\$/ha)	356,61	477,31

A partir de los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que el sistema con dos raleos genera mayor retorno económico, con una diferencia de 1.214,10 dólares superior en el VAN. Al igual que en el flujo realizado para la superficie total la diferencia en la TIR es 1,34% mayor en el sistema 2. Teniendo en cuenta el VES y la RFA, se observa que ambos son mayores en el sistema con dos raleos, generando una diferencia de 1.724,24 y 120,70 dólares superior respectivamente.

#### 4.1.6 Resultados financieros del Sistema 3

Teniendo en cuenta el sistema S3 en el cual se realizó la simulación con 270 árboles remanentes se obtuvieron volúmenes cosechados tanto para madera aserrada como para puntales mayores a los obtenidos en el sistema con dos raleos al dejar una densidad de 150 árboles remanentes (Cuadro 29, Anexo 9).

Cuadro 29. Volumen cosechado en el Sistema 3

<b>Sistema 3</b>	
Cosecha para aserrado (mcs)	28.570
Cosecha para puntales (mcs)	11.390

A continuación, se presenta un resumen del flujo de fondos del sistema 2 y del sistema 3, el flujo neto incremental (S3 vs. S2) y sus indicadores financieros, teniendo en cuenta la superficie total de plantación (Cuadros 30 y 31, Anexo 10).

Cuadro 30. Flujo neto incremental (US\$) entre el S2 y el S3

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>
Flujo neto de caja S2	- 291.738	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 41.400
Flujo neto de caja S3	- 291.738	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 41.400
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 34.400	- 2.000	103.160	- 14.000
Flujo neto de caja S3	- 2.000	- 34.400	- 2.000	54.420	- 23.600
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>- 48.740</b>	<b>- 9.600</b>

	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000
Flujo neto de caja S3	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000	- 2.000
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 15</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>
Flujo neto de caja S2	- 2.000	- 2.000	- 2.000	2.724.586
Flujo neto de caja S3	- 2.000	- 2.000	- 2.000	3.106.527
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>381.941</b>

Cuadro 31. Indicadores financieros del S2 y S3

	<b>Sistema 2</b>	<b>Sistema 3</b>
VAN (US\$)	497.871,25	577.284,92
TIR (%)	12,85%	13,26%
VES (US\$)	707.066,81	819.848,52
RFA (US\$)	49.494,68	57.389,40

Considerando la superficie total se observa que el VAN en el sistema S3 genera una diferencia de 79.413,67 dólares superior que en el sistema S2. Esta diferencia es generada en el año 18 debido a la venta final de madera, los volúmenes obtenidos en el sistema S3 son mayores tanto para madera aserrada como para puntales. Independientemente de que el volumen raleado a los 8 años de la plantación haya sido mayor en sistema S2 los volúmenes finales de cosecha compensaron esta diferencia. La TIR obtenida en este último sistema es de 0,41% superior, lo que significa un incremento proporcional del 21%, confirmando que el sistema S3 es más rentable. Teniendo en cuenta el VES y la RFA, se observa que ambos son mayores en el sistema S3, generando una diferencia de 122.781,71 y 7.894,72 dólares superior respectivamente.

Por otro parte, se presenta el flujo de fondos del sistema 2 y 3, el flujo neto incremental (S3 vs. S2) y sus indicadores financieros calculados por hectárea (Cuadros 32 y 33, Anexo 11).

Cuadro 32. Flujo neto incremental (US\$/ha) entre el S2 y el S3

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>
Flujo neto de caja S2	- 3.095	- 20	- 20	- 20	- 414
Flujo neto de caja S3	- 3.09	- 20	- 20	- 20	- 414
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>
Flujo neto de caja S2	- 20	- 344	- 20	1.032	- 140
Flujo neto de caja S3	- 20	- 344	- 20	544	- 236
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>- 487</b>	<b>- 96</b>

	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>
Flujo neto de caja S2	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20
Flujo neto de caja S3	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	-	-

	<b>Año 15</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>
Flujo neto de caja S2	- 20	- 20	- 20	27.246
Flujo neto de caja S3	- 20	- 20	- 20	31.065
<b>FNC incremental</b>	-	-	-	<b>3.819</b>

Cuadro 33. Indicadores financieros del sistema S2 y S3

	<b>Sistema 2</b>	<b>Sistema 3</b>
VAN (US\$/ha)	4.801,30	5.595,43
TIR (%)	12,50%	12,92%
VES (US\$/ha)	6.818,70	7.946,52
RFA (US\$/ha)	477,31	556,26

A partir de los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que el sistema S3 en el cual la intensidad del segundo raleo fue menor, genera mayor retorno económico con respecto al sistema S2. Existe una diferencia de 794,14 dólares superior en el VAN y 0,42% superior en la TIR. Al igual que el flujo para la superficie total la TIR incremental dio un valor de 21%, confirmando nuevamente que el sistema S3 es más rentable. Teniendo en cuenta el VES y la RFA, se observa que ambos son mayores en el sistema S3, generando una diferencia de 1.127,82 y 78,95 dólares superior respectivamente.

Considerando estos resultados se puede decir que existe un límite en la cantidad de árboles raleados para generar un mayor retorno económico, se observa que la relación entre la intensidad del raleo y el ingreso obtenido no es lineal.

#### 4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir del estudio mencionado anteriormente realizado por Cassidy et al. (2012) en el cual se pudo observar el efecto del raleo en *Eucalyptus pilularis* se puede decir que los resultados obtenidos en este proyecto fueron acordes a los obtenidos en dicho estudio. Los mayores valores de DAP fueron obtenidos en aquellos tratamientos con mayor intensidad de raleo (S2) traduciéndose en un mayor volumen individual. Por otro lado, teniendo en cuenta el volumen por hectárea se puede confirmar que cuanto mayor es la intensidad de raleo menor será el volumen por hectárea. Teniendo como ejemplo en el estudio de Cassidy et al. (2012) el tratamiento control y en esta investigación el S1. Por lo tanto, se puede decir que aquellos tratamientos con medias bajas en volumen por hectárea obtienen árboles con mayor valor individual lo cual les permitirá comercializarse en el mercado de madera aserrada pudiendo obtener un mayor valor monetario por metro

cúbico. Teniendo en cuenta que se trata de una plantación comercial en donde el horizonte temporal es acotado de aproximadamente 18 a 20 años.

Teniendo en cuenta al factor altura en este proyecto no se obtuvieron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, esto quiere decir que independientemente de la intensidad de raleo el valor en altura no generó grandes diferencias. Mientras que, en el estudio realizado por Methol (1999) en la ciudad de Tacuarembó se puede observar lo contrario, generándose en el cuarto y quinto año grandes diferencias en aquellos tratamientos con mayor intensidad de raleo. Esto puede ser explicado porque las mediciones en este último estudio fueron realizadas dentro de un lapso de tiempo prolongado (más de 5 años), por lo tanto, los resultados obtenidos son reflejo de la evolución a largo plazo que se genera en los árboles a campo. Sin embargo, este proyecto toma en cuenta un lapso de tiempo de 7 meses entre mediciones, este periodo puede ser acotado a la hora de observar los efectos generados por el raleo en el factor altura.

En cuanto a la evaluación del VAN y la TIR, tomando como referencia el estudio realizado por Cassidy et al. (2012), se puede decir que los resultados obtenidos en la presente investigación son acordes con dicho estudio. En el cual se obtienen un mayor VAN y TIR en aquellos tratamientos en donde se realizó un mayor número de raleos debido a la obtención de árboles de diámetros mayores a turno final.

Por otro lado, teniendo en cuenta la comparación entre el sistema S2 (150 árboles remanentes) y el sistema S3 (270 árboles remanentes) se puede decir que en esta nueva situación también se confirma lo mencionado en el estudio de Cassidy et al. (2012). Ya que en estos dos sistemas ocurre lo mismo que en el tratamiento que deja una densidad final de 125 árb/ha y 87 árb/ha de dicho estudio. Se puede comprender más fácilmente a través de las Figuras 5 y 6 en las cuales se observa que el VAN y la TIR obtenida es superior en aquel tratamiento que deja una densidad final mayor. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de árboles quitados en el segundo raleo en el sistema S2. En el sistema S3 se obtuvo un mayor VAN, así como también un mayor VES y una mayor RFA debido a que la cantidad de árboles quitados genera mayores rendimientos en aquellos árboles remanentes debido a la obtención de un mayor valor de trozas de diámetros superiores. Al final de la rotación se logra una mejor calidad de la madera, que será destinada principalmente para la producción de madera aserrada.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó una plantación de *Eucalyptus grandis* en baja densidad en un sistema silvopastoril bajo dos intensidades de raleo para cuantificar el aumento de la producción de madera con destino sólido. Luego de finalizada la investigación se puede afirmar que la realización del segundo raleo fue eficiente generando un aumento en la calidad de la madera traduciéndose en un mayor retorno económico. Se observa que el primer raleo generó un mayor volumen cosechado, pero con menor valor económico ya que fue destinado principalmente para puntales. Considerando estos resultados se puede demostrar que las hipótesis planteadas son ciertas. Por un lado, el sistema S2 produce mayor volumen de trozas con destino aserrado y debobinado con respecto al sistema S1 y, por otro lado, el sistema S2 resulta en un mayor retorno económico y financiero con respecto al sistema S1.

Independientemente de que el sistema S2 genera mayor retorno económico se pudo comprobar a partir del sistema S3 que la intensidad del segundo raleo fue muy alta, por lo que no es recomendable una densidad final de árboles tan baja. Esto se tradujo en un mayor retorno económico en el sistema S3, producto de un mayor número de árboles remanentes a turno final.

Por otra parte, se planteó una tercera hipótesis la cual afirma que existen diferencias significativas en DAP, Hm y V entre sistema S1 y el sistema S2. Por un lado, teniendo en cuenta la variable Hm se puede decir que la hipótesis planteada no se cumple ya que los resultados confirman que no existen diferencias significativas entre la interacción de altura por zona y por raleo, esto quiere decir que independientemente de la cantidad de raleos y la zona en donde se ubique la plantación los valores de altura serán similares. Por otro lado, teniendo en cuenta las variables de DAP y V se puede decir que la hipótesis es cierta ya que se encontraron diferencias significativas en el factor zona y en el factor raleo. Según el DAP se obtuvo que el sistema con dos raleos y la zona Norte fueron aquellas condiciones que generaron mayores diámetros, pudiendo encontrar una coherencia con la revisión bibliográfica. Confirmando que los mayores valores de DAP fueron obtenidos en el sistema que presenta una mayor intensidad de raleo. Según el volumen por hectárea se obtuvo que el sistema con un solo raleo es en donde se obtienen mayores valores, independientemente de la zona en donde se encuentre. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de árboles eliminados a partir del segundo raleo, pasando de una densidad de 540 árboles/ha a 150 árboles/ha. Mientras que, a partir de los resultados obtenidos del volumen por árbol se observa que el sistema con dos raleos es el que alcanza un mayor volumen individual, debido a que aquellos árboles que quedaron remanentes fueron beneficiados a partir de una menor densidad y, por lo tanto, una menor competencia.

Esta investigación puede mejorar el conocimiento de sistemas forestales de baja densidad con el objetivo de obtener productos de alto valor agregado. Los resultados son promisorios para desarrollar sistemas silvícolas de baja densidad forestal con mayor integración al rubro ganadero, disminuyendo el riesgo de la actividad agropecuaria mediante una mayor diversificación de rubros.

Continuar evaluando sistemas silvopastoriles en diferentes regiones del país, con distintos marcos de plantación y especies forestales permitirá contar con información complementaria a este trabajo.

## 6. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar una plantación de *Eucalyptus grandis* en un sistema silvopastoril desde el punto de vista productivo y económico financiero bajo dos intensidades de raleo. En la zona bajo estudio se presentan dos sistemas: el Sistema 1 (S1) con un solo raleo y densidad final de 540 árboles por hectárea y el Sistema 2 (S2) con dos raleos y densidad final de 150 árboles por hectárea. Para llevar a cabo esta investigación se instalaron en el predio 15 parcelas y se realizaron dos mediciones dasométricas a los 8,2 años y 8,7 años. Se midieron las variables: altura total (Ht), altura de copa (Hc) y circunferencia a la altura del pecho (CAP). A partir de las mismas se calcularon las variables: área basal (AB), diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen (V). Para la evaluación estadística se realizó un análisis de varianza en dónde se estimaron las diferencias en DAP, altura (Hm) y V según cada sistema, tomando en cuenta la interacción de estas variables con la zona (Norte y Sur), la cantidad de raleos (1 y 2) y la combinación generada entre zona y raleo. Para las variables en las que se encontraron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple logrando conocer cuál situación generó mayores medias. Adicionalmente se realizó una evaluación financiera a partir de simulaciones de cosecha a los 18 años de ambos sistemas empleando los indicadores: valor actual neto (VAN), valor esperado del suelo (VES), tasa interna de retorno (TIR) y renta forestal anual (RFA). Teniendo en cuenta la variable DAP se encontraron diferencias entre el S1 (22 cm) y S2 (26,6 cm) tanto para el factor zona como para el factor raleo. Asimismo, se encontraron diferencias en la variable volumen entre el S1 (119,2 mcs/ha) y el S2 (73,8 mcs/ha) teniendo en cuenta únicamente el factor raleo. Por último, no existen diferencias en Hm, ya que es una variable poco influenciada por el manejo silvicultural. Los resultados confirman lo hallado en otros estudios en donde una mayor intensidad de raleo resulta en mayor DAP. Por otro lado, los resultados de la evaluación financiera indican que el sistema S2 genera un mayor retorno económico ya que produce un mayor volumen de trozas con destino aserrado con respecto al sistema S1, lo que mejora su rentabilidad. La TIR obtenida para ambos sistemas es de 11,16% para S1 y 12,50% para S2. A partir del flujo de fondos incremental se obtuvo un VAN de 1.214,10 US\$/ha. Adicionalmente se planteó un hipotético sistema el cual se denominó S3 en donde se simula un segundo raleo intermedio dejando remanentes 270 árboles/ha. En la evaluación del S2 y S3 se considera otro producto además de trozas para aserrado, incorporando la posibilidad de obtener trozas para puntales. Como resultado se obtuvo que el sistema S3 es más rentable, demostrando que existe un límite en la intensidad del raleo ya que este sistema deja un mayor número de árboles remanentes y obtiene un mayor volumen de trozas tanto para aserrado como para puntales. La TIR obtenida para este sistema es de 12,92%, lo que significa un incremento proporcional del 21% y un VAN incremental de 794,14 US\$/ha, lo cual confirma que el sistema S3 es más rentable. Esta investigación puede contribuir a mejorar el conocimiento del efecto del raleo en sistemas silvopastoriles de baja densidad, con el objetivo de obtener productos de alto valor

agregado y una mayor integración al rubro ganadero, mejorando de este modo la renta ganadera y disminuyendo el riesgo de la actividad agropecuaria mediante una mayor diversificación de rubros.

Palabras clave: Sistema silvopastoril; Raleo; Madera para aserrado; Flujo de fondos; Indicadores financieros.

## 7. SUMMARY

The aim of this project was to evaluate a plantation of *Eucalyptus grandis* in a silvopastoral system; taking into consideration the economic and productive aspects in two different thinning intensities. The study area consisted in two different systems: System number one (S1) with a single thinning and final density of 540 trees per hectare and System number two (S2) with two thinnings and final density of 150 trees per hectare. To carry out this research there were established 15 plots and two dasometric measurements were made at 8,2 years and 8,7 years. The variables measured were height (Ht), cup height (CH) and circumference at chest height (CCH); these variables were used to determine the basal area (BA), chest height diameter (CHD) and volume (V). For the statistical evaluation a analysis of variance was made were the difference in CCH, height (Hm) and volume were estimated for each system taking into consideration the interaction between these variables with the site (North and South), the amount of thinnings (1 and 2) and the combination of site and thinning. For those variables were significant difference were found, it was made a multiple comparison test managing to know which situation generated higher averages. In addition, a financial evaluation was made based on simulations of harvest at 18 years of both systems according to know the following indicators: net present value (NPV), internal rate of return (IRR), expected value of land (EVL), and the annual forest rent (AFR). According to the results, for the variable CCH there were found differences between S1 (22 cm) and S2 (26,6 cm) both for the factor site and for the factor thinning. Likewise, differences in the variable volume were found between S1 (119,2 cms/ha) and S2 (73,8 cms/ha) considering only the factor thinning. Finally, for the variable Hm there were not found differences since it is a variable little influenced by the silvicultural management. On the second hand, the result of the financial evaluation shows that the system 2 generates a higher economic return since it produces a higher number of logs destined for the sawmill about system 1 which increased its rentability. The IRR obtained for both systems is 11,16% for S1 and 12,50% for S2. From the incremental cash flow was obtained a NPV of 1.214,10 dollars per hectare. In addition, a hypothetical system was proposed called S3, where a second thinning was simulated leaving 270 remaining tress/ha. In the evaluation of S2 and S3 it is considered another product as well as saw logs, adding the possibility of obtaining logs of props. As a result, the S3 was more rentable showing that it exists a limit in the intensity of thinning, since it leaves a greater number of tress and obtained a greater volume of logs for both, sawing and props. The IRR obtained for this system is 12,92%, which means a proportional increase of 21% and an incremental NPV of 903,38 dollars per hectare, which confirms that the S3 system is more profitable. This research can contribute to improving knowledge of the effect of thinning in low density silvopastoral systems, with the aim of obtaining high value-added products and greater integration into the livestock sector, thus improving livestock income and reducing the risk of agricultural activity through greater diversification is items.

Key words: Silvopastoral system; Thinning; Sawing wood; Cash flows; Financial indicators.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, J.; Falcao, O. 2011. Manual de gestión de empresas agropecuarias. 2ª. ed. corr. y aum. Montevideo, UdelaR. Facultad de Agronomía. 192 p.
2. ASECFUR (Asociación de Empresas Contratistas Forestales del Uruguay, UY). 2020. Precios de servicios forestales en Uruguay. (en línea). Montevideo. 1 p. Consultado may. 2022. Disponible en <https://www.agroavisos.net/2020/06/13/precios-de-servicio-forestales-en-uruguay/>
3. Boland, D. J.; Broker, M. I. H.; Chippendale, G. M.; Hall, N.; Hyland, B. P. M.; Johnston, R. D.; Kleing, D. A.; McDonald, M. W.; Turner, J. D. 2006. Forest trees of Australia. 5<sup>th</sup>. ed. Canberra, Australia, CSIRO. 736 p.
4. Boscana, M.; Bussoni, A. 2019. Comparación económica - financiera de sistemas silvopastoriles en la región Este del Uruguay. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 15 p. Consultado jun. 2022. Disponible en [http://www.fagro.edu.uy/images/stories/DptoCCSS/doc/resumenes/trabajos\\_completos/Comparaci%C3%B3n\\_econ%C3%B3mica\\_-\\_financiera\\_de\\_Sistemas\\_Silvopastoriles\\_en\\_la\\_regi%C3%B3n\\_este\\_del\\_Uruguay.pdf](http://www.fagro.edu.uy/images/stories/DptoCCSS/doc/resumenes/trabajos_completos/Comparaci%C3%B3n_econ%C3%B3mica_-_financiera_de_Sistemas_Silvopastoriles_en_la_regi%C3%B3n_este_del_Uruguay.pdf)
5. \_\_\_\_\_.; Arriaga, M. 2021a. Informe cuatrimestral de exportaciones de madera: principales cadenas forestales. (en línea). Montevideo, MGAP. DGF. 13 p. Consultado 15 may. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/exportaciones-madera-tercer-cuatrimestre-del-2021>
6. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2021b. Tercera encuesta de servicios forestales. (en línea). Montevideo, MGAP. DGF. 9 p. Consultado 15 may. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/tercera-encuesta-servicios-forestales>
7. Brussa, C. A. 1994. Eucalyptus: especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 70 p.
8. Bueno, H. 2018. Silvopastoreo: una opción productiva sostenible. Revista del Plan Agropecuario. no. 167:32-34.

9. Busby, G.; Binkley, C.; Chudy, R. 2020. Constructing optimal global timberland investment portfolios. *Forest Policy and Economics*. 111:102083
  
10. Bussoni, A.; Juan, C.; Fernández, E.; Boscana, M.; Cubbage, F.; Bentancur, O. 2015. Integrated beef and wood production in Uruguay: potential and limitations. (en línea). *Agroforestry Systems*. 89(6):1107- 1118. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-015-9839-1>
  
11. \_\_\_\_\_.; Boscana, M.; Llanos, E. 2019. Estudios de caso en sistemas silvopastoriles: análisis productivo y económico. *In*: Bussoni, A.; Boscana, M.; Varela, F.; Llanos, E.; Picasso, V.; Cubbage, F.; Alconada Magliano, M.; Carricaburu, F. eds. *Producción ganadera y forestal: modelos de integración económico ambiental*. Montevideo, INIA. pp. 15-63 (FPTA no. 70).
  
12. Cabris, J. 2004. Stand density, competition and seasonal growth patterns of *Eucalyptus* planted in Uruguay. *In*: IUFRO Conference “Eucalyptus in a Changing World” (47<sup>th</sup>., 2004, Aveiro, Portugal). *Proceedings*. Aveiro, Forest Ecology and Management. pp. 1-15.
  
13. Calle, Z.; Murgueitio, E.; Chará, J. 2012. Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva*. 63 (239):31-40.
  
14. Cassidy, M.; Palmer, G.; Glencross, K.; Nichols, J. D.; Smith, R. G. B. 2012. Stocking and intensity of thinning affect log size and value in *Eucalyptus pilularis*. *Forest Ecology and Management*. 264(15):220-227.
  
15. Chizmar, S.; Castillo, M.; Pizarro, D.; Vasquez, H.; Bernal, W.; Rivera, R.; Sills, E.; Abt, R.; Parajuli, R.; Cubbage, F. 2020. A discounted cash flow and capital budgeting analysis of silvopastoral systems in the Amazonas region of Peru. (en línea). *Land*. 9(10):353-368. Consultado feb. 2021. Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/10/353>
  
16. Churchman, C. 1968. *The systems approach*. New York, Delacorte. 243 p.
  
17. Cubbage, F.; Balmelli, G.; Bussoni, A.; Noellemeyer, E.; Pachas, A.; Fassola, H.; Colcombet, L.; Rossner, B.; Frey, G.; Dube, F.; Lopes de Silva, M.; Stevenson, H.; Hamilton, J.; Hubbard, W. 2012. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems*. 86(1):303-314.

18. Cueto, G. 2012. Influencia del raleo sobre la productividad y calidad de la madera en *Eucalyptus grandis*. Influencia del raleo sobre la madera. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 41 p.
19. Davis, J.; Rausser, G. 2020. Amending conservation programs through expanding choice architecture: a case study of forestry and livestock producer. (en línea). *Agricultural Systems*. 177(12):102678. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X19302124?via%3Dihub>
20. Dyer, J. F.; Barlow, B.; Kush, J.; Morse, W.; Teeter, L.; Keever, G. 2015. Factors affecting Alabama landowner interest in harvesting pine straw and willingness to accept prices. (en línea). *Agroforestry Systems*. 89(5):829-839. Consultado mar. 2021. Disponible en <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy/article/10.1007%2Fs10457-015-9816-8>
21. Ford, M. M.; Zamora, D. S.; Current, D.; Magner, J.; Wyatt, G.; Walter, W. D.; Vaughan, S. 2019. Impact of managed woodland grazing on forage quantity, quality and livestock performance: the potential for silvopasture in central Minnesota, USA. *Agroforestry Systems*. 93(1):67-79.
22. Fuchs, H. 2012. Challenges for MRV in agroforestry systems using remote sensing techniques. In: DAAD Workshop Forests in Climate Change and Policy: the Role of Forest Management and Conservation in a Complex International Setting (3<sup>rd</sup>, 2012, Dubai and Doha). Proceedings. Göttingen, Germany, Universität Göttingen. pp. 1-21.
23. García Pintos, R. 2021. Sistemas silvopastoriles: una opción interesante, vigente y apropiada. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 177:40-42. Consultado abr. 2020. Disponible en [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/192\\_3006.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/192_3006.pdf)
24. Hawley, R. C.; Smith, D. M. 1954. The practice of silviculture. 6<sup>th</sup>. ed. New York, Wiley. pp. 27 - 51.
25. Huertas, S. M.; Bobadilla, P. E.; Bueno, H. J.; Vila, F.; César, D.; Callero, J. L.; Piaggio, J. M.; Gil, A. D. 2020. Caracterización de los sistemas

silvopastoriles y sistemas de pasturas abiertas de algunos predios del centro y Sureste del Uruguay. (en línea). In: Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos silvopastoriles y sistemas forestales existentes en el país y su relación con la producción de bovinos de carne. (en línea). Montevideo, INIA. pp. 16-24 (FPTA no. 87). Consultado jun. 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14475/1/Inia-Fpta-87-proyecto-311-2020.pdf>

26. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2003. SAG (Sistema de Apoyo a la Gestión Forestal). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jul. 2022. Disponible en <http://www.iniaforestaluy.com/sag/menu.aspx?84854>
27. Methol, R. 1999. Ensayos de raleo en *Eucalyptus grandis*. (en línea). In: Seminario Técnico de Avances en Mejoramiento Genético y Manejo de Especies de Eucalyptus (1999, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 51-61 (Actividades de Difusión no. 189). Consultado feb. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12341/1/SAD-189-1999p.-51-61.pdf>
28. \_\_\_\_\_.; Balmelli, G.; Resquin, F. 2005. Evaluación de la intensidad de poda en *Eucalyptus grandis* al tercer año de crecimiento. In: Jornada Forestal (2º., 2005, Tacuarembó). Visita a ensayos de silvicultura y mejoramiento de pinos y eucaliptos. Montevideo, INIA. pp. 11-17 (Actividades de Difusión no. 416).
29. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2021. Cartografía nacional forestal 2021. (en línea). Montevideo. 12 p. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/cartografia-nacional-forestal-2021>
30. \_\_\_\_\_. RENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Recursos Naturales Renovables, UY). 2019. CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado mar. 2021. Disponible en <http://web.renare.gub.uy/js/visores/coneat/>
31. Muñoz, F.; Espinosa, M.; Herrera, M.; Cancino, J. 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación

de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. (en línea). Bosque. 26(1):93-99. Consultado feb. 2022. Disponible en [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002005000100009](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000100009)

32. Murgueitio, E.; Ibrahim, M. 2009. Cattle and the environment in Latin America. In: Murgueitio, E.; Cuartas, C.; Naranjo, J. eds. Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. 2ª. ed. Cali, Colombia, Fundación CIPAV. pp. 20-39.
33. Nolan, G.; Washusen, R.; Jennings, S.; Greaves, B.; Parsons, M. 2005. Eucalypt plantations for solid wood products in Australia: a Review. (en línea). Victoria, Australia, Australian Government. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. 130 p. Consultado feb. 2022. Disponible en [https://www.utas.edu.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/267694/eucalpt-plantations-for-solid-wood-products-in-australia.pdf](https://www.utas.edu.au/_data/assets/pdf_file/0007/267694/eucalpt-plantations-for-solid-wood-products-in-australia.pdf)
34. Palmer, G. 2010. Conversion modelling: simulating tree stems. Lismore, Australia, Southern Cross University. 179 p.
35. Paseyro, J. 2015. Más vale especie conocida que otra por conocer. Revista Forestal. no. 11:16-22.
36. Pelufo, M.; Vázquez, A. 2007. Ensayo de podas y raleos de *Eucalyptus grandis* en Rivera etapa 1 evaluación del crecimiento e incremento a la edad de 6 años. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 66 p.
37. R Core Team. 2022. R: a language and environment for statistical computing. Version 4.2. (en línea). Vienna, Australia, R Foundation for Statistical Computing. s.p. Consultado mar. 2022. Disponible en <https://www.R-project.org/>
38. Russo, R. O.; Botero, R. 1996. Nitrogen fixing trees for animal production on acid soils. In: Powell, M. H. ed. Nitrogen fixing trees for acid soils: a field manual. Morrilton, Winrock International. pp. 31-39.
39. Sancho, L.; Arocena, I.; Ordeig, L. 2021. Definición, caracterización y cuantificación del área bajo sistemas silvopastoriles. (en línea). Montevideo, MGAP. DGF. 66 p. Consultado mar. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y->

[estadisticas/estadisticas/definicion-caracterizacion-cuantificacion-del-area-bajo-sistemas-silvopastoriles](#)

40. Shepherd, K. R. 1986. Plantation silviculture. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhoff. pp. 236-262.
41. Shibu, J.; Walter, D.; Kumar, B. M. 2019. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*. 93(1):317-331.
42. SPF (Sociedad de Productores Forestales, UY). 2021. Zonas forestadas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2021. Disponible en <http://www.spf.com.uy/forestacion-zonas-forestadas/#>
43. Thomas, D.; Henson, M.; Joe, B.; Boyton, S.; Dickson, R. 2009. Review of growth and wood quality of plantation grown *Eucalyptus dunnii* Maiden. (en línea). *Australian Forestry*. 72:3-11. Consultado feb. 2022. Disponible en <http://svc043.wic023v.server-web.com/pdf/pdf-members/afj/AFJ%202009%20v72/1/02Thomas.pdf>
44. Van Hoff, E. 1997. Optimización de la producción en plantaciones de eucaliptos. *Revista Forestal*. no. 4:11-14.
45. \_\_\_\_\_. 2004. Estado actual de la información sobre manejo forestal en Uruguay. (en línea). Montevideo, FAO. s.p. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/ad404s/AD404s07.htm>

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Área por parcela

<b>Parcela</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Distancia entre árboles (m)</b>	<b>Distancia entre filas (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
1	24,20	20	2,19	3,47	484
2	23,44	20	2,18	3,39	469
3	23,94	20	2,30	3,53	479
4	23,32	20	2,14	2,67	466
5	22,70	20	2,40	2,60	454
6	23,22	40	2,24	3,46	929
7	23,45	40	2,06	3,54	938
8	22,09	40	2,93	1,78	883
9	22,13	20	1,89	3,16	443
10	20,24	20	3,53	2,23	405
11	23,75	20	3,55	2,25	475
12	23,16	40	2,00	3,45	926
13	24,30	40	2,23	3,42	972
14	23,13	40	2,38	3,72	925
15	21,88	40	2,21	3,53	875

2 raleos

Anexo 2. Valores obtenidos de DAP promedio, altura promedio y volumen

<b>Raleos</b>	<b>Parcela</b>	<b>DAP/parcela</b>	<b>Altura/parcela</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Vol/ha</b>
1	1	18,81	17,43	484	79,84
1	2	21,73	19,80	469	116,72
1	3	20,37	18,64	479	120,40
1	4	22,74	19,82	466	128,98
1	5	19,44	17,85	454	92,45
2	6	24,26	19,29	929	81,37
2	7	27,53	20,33	938	62,43
2	8	22,98	18,71	883	53,54
1	9	21,33	17,28	443	135,20
1	10	25,60	20,60	405	149,35
1	11	23,01	20,49	475	110,16
2	12	28,41	21,88	926	78,92
2	13	26,69	18,47	972	51,15
2	14	27,29	20,27	925	77,58
2	15	30,43	21,21	875	122,18

2 raleos

### Anexo 3. Simulación y trozado del Sistema 1

#### Datos Rodal Ingresados

Zona Seleccionada: **Zona 8**

Edad inicial: **8,0** años

Edad final: **18,0** años

Población inicial: **540** árb/ha

DAP medio inicial: **24,66** cm

Área basal Inicial: **25,79** m<sup>2</sup>/ha

DAP máximo inicial: **31,70** cm

Desvío estandar inicial DAP: **1,70** cm

Altura media dominante inicial: **22,10** m

Indice de Sitio: **25,51** m

#### Datos Para Raleo

Edad: **Año 1er raleo**

**Año 2do raleo**

**Año 3er raleo**

**Año 4to raleo**

Estimar IMA solo con volúmen en pie (de lo contrario se estimará incluyendo volúmen raleado acumulado)

#### Eucalyptus grandis (2021)

Ejecutar simulación

Distribución Diamétrica

Simular Trozado

Dist. diamétrica árboles raleados

Generar Reporte

#### IMA vs ICA

www.jqwidgets.com

Edad (años)	AMD (m)	Poblacion (arb/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvio DAP (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)	ICA (m <sup>3</sup> /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m <sup>3</sup> /ha)	Poblacion Post raleo (arb/ha)	AB raleo (m <sup>2</sup> /ha)	DAP raleo (cm)	Desvio raleo (cm)	Volumen s.c. raleo (m <sup>3</sup> /ha)
8,0	22,1	540	25,8	24,7	31,7	1,7	223,4	27,9							
9,0	23,8	539	27,4	25,4	33,1	2,0	254,6	28,3	31,2						
10,0	25,4	538	28,7	26,1	34,3	2,3	283,4	28,3	28,8						
11,0	26,8	536	29,9	26,6	35,4	2,5	310,0	28,2	26,6						
12,0	28,1	533	30,8	27,1	36,3	2,8	334,5	27,9	24,5						
13,0	29,3	528	31,7	27,6	37,2	3,1	357,2	27,5	22,7						
14,0	30,4	520	32,4	28,2	38,0	3,3	378,4	27,0	21,1						
15,0	31,4	508	33,0	28,8	38,8	3,6	398,1	26,5	19,7						
16,0	32,4	492	33,6	29,5	39,5	3,8	416,5	26,0	18,5						
17,0	33,2	475	34,1	30,2	40,1	4,1	433,9	25,5	17,3						
18,0	34,0	460	34,6	30,9	40,7	4,3	450,0	25,0	16,2						

Troza	Calidad de troza	Diametro mínimo (cm)	Largo de Troza (m)	Trozas por arbol	CANTIDAD	Volumen (m3/ha)
1	Aserrable 1 - S/P	25,00	4,80	99	412	156,4
2	Aserrable 2 - S/P	25,00	4,80	99	0	0,0
3	Puntales	11,00	1,20	99	7.014	281,1
4	Troza 4	0,00	0,00	0	0	0,0
5	Troza 5	0,00	0,00	0	0	0,0
6	Troza 6	0,00	0,00	0	0	0,0

Altura del tocón  m

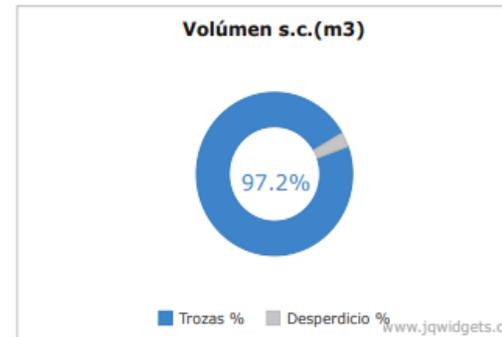


Calcular trozado de tala rasa

Análisis Económico



	Volumen (m3/ha)	%
Trozas	437,5	97,2
Desperdicio	12,5	2,8
TOTAL	450,0	100



## Anexo 4. Simulación y trozado del Sistema 2

### Datos Rodal Ingresados

Zona Seleccionada: Zona 8

Edad inicial: 8,0 años

Edad final: 18,0 años

Población inicial: 150 árb/ha

DAP medio inicial: 29,20 cm

Área basal Inicial: 10,04 m<sup>2</sup>/ha

DAP máximo inicial: 37,72 cm

Desvío estandar inicial DAP: 5,84 cm

Altura media dominante inicial: 22,88 m

Indice de Sitio: 26,62 m

### Datos Para Raleo

Edad: Año 1er raleo 0

Año 2do raleo 0

Año 3er raleo 0

Año 4to raleo 0

Estimar IMA solo con volúmen en pie (de lo contrario se estimará incluyendo volúmen raleado acumulado)

### Eucalyptus grandis (2021)

Ejecutar simulación

Distribución Diamétrica

Simular Trozado

Dist. diamétrica árboles raleados

Generar Reporte

### IMA vs ICA

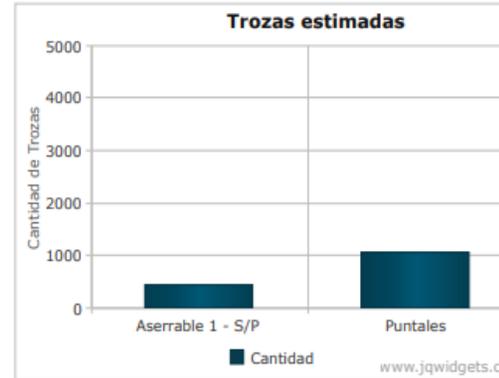
[Imprimir gráfica](#)

www.jqwidgets.com

Edad (años)	AMD (m)	Poblacion (arb/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvio DAP (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)	ICA (m <sup>3</sup> /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m <sup>3</sup> /ha)	Poblacion Post raleo (arb/ha)	AB raleo (m <sup>2</sup> /ha)	DAP raleo (cm)	Desvio raleo (cm)	Volumen s.c. raleo (m <sup>3</sup> /ha)
8,0	22,9	150	10,0	29,2	37,7	5,8	91,9	11,5							
9,0	24,6	149	11,9	31,9	39,0	6,1	117,2	13,0	25,3						
10,0	26,2	147	13,7	34,4	40,1	6,3	142,6	14,3	25,5						
11,0	27,6	144	15,3	36,8	42,3	6,5	167,8	15,3	25,2						
12,0	28,9	140	16,8	39,1	44,9	6,7	192,3	16,0	24,6						
13,0	30,0	137	18,1	41,0	47,2	6,8	216,1	16,6	23,7						
14,0	31,1	133	19,3	43,0	49,5	7,0	238,9	17,1	22,9						
15,0	32,1	131	20,5	44,6	51,3	7,1	260,7	17,4	21,8						
16,0	33,0	129	21,5	46,1	53,0	7,3	281,5	17,6	20,8						
17,0	33,9	127	22,5	47,5	54,6	7,4	301,3	17,7	19,8						
18,0	34,6	125	23,3	48,8	56,1	7,5	320,1	17,8	18,9						

Troza	Calidad de troza	Diametro mínimo (cm)	Largo de Troza (m)	Trozas por arbol	CANTIDAD	Volumen (m3/ha)
1	<b>Aserrable 1 - S/P</b>	25,00	4,80	99	431	267,6
2	<b>Aserrable 2 - S/P</b>	25,00	4,80	99	0	0,0
3	<b>Puntales</b>	11,00	1,20	99	1.052	49,3
4	<b>Troza 4</b>	0,00	0,00	0	0	0,0
5	<b>Troza 5</b>	0,00	0,00	0	0	0,0
6	<b>Troza 6</b>	0,00	0,00	0	0	0,0

Altura del tocón m

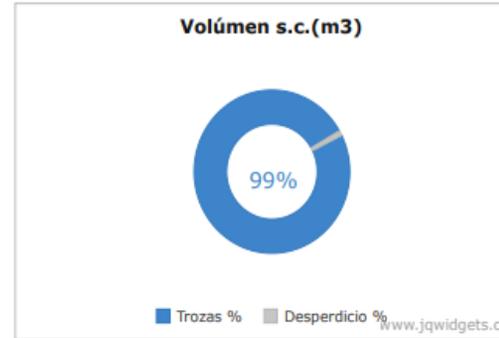


Calcular trozado de tala rasa

Análisis Económico



	Volumen (m3/ha)	%
Trozas	316,9	99,0
Desperdicio	3,2	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>320,1</b>	<b>100</b>



### Datos Rodal Ingresados

Zona Seleccionada: **Zona 8**

Edad inicial: **6,0** años

Edad final: **18,0** años

Población inicial: **540** árb/ha

DAP medio inicial: **19,49** cm

Área basal Inicial: **16,11** m<sup>2</sup>/ha

DAP máximo inicial: **22,53** cm

Desvío estandar inicial DAP: **1,55** cm

Altura media dominante inicial: **15,77** m

Indice de Sitio: **24,12** m

### Datos Para Raleo

Edad: **8,0**      Árboles remanentes: **150**

Año 2do raleo: **0**

Año 3er raleo: **0**

Año 4to raleo: **0**

Estimar IMA solo con volúmen en pie (de lo contrario se estimará incluyendo volúmen raleado acumulado)

### Eucalyptus grandis (2021)

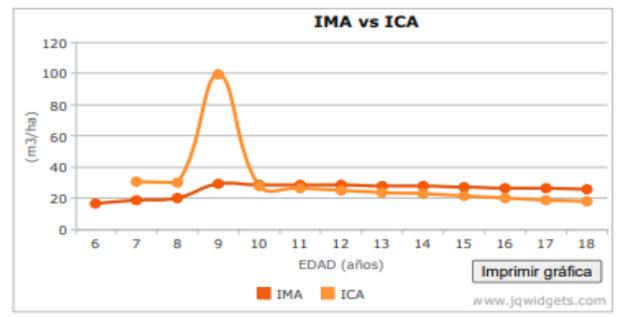
Ejecutar simulación

Distribución Diamétrica

Simular Trozado

Dist. diamétrica árboles raleados

Generar Reporte



Edad (años)	AMD (m)	Poblacion (arb/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvío DAP (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)	ICA (m <sup>3</sup> /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m <sup>3</sup> /ha)	Poblacion Post raleo (arb/ha)	AB raleo (m <sup>2</sup> /ha)	DAP raleo (cm)	Desvío raleo (cm)	Volumen s.c. raleo (m <sup>3</sup> /ha)
6,0	15,8	540	16,1	19,5	22,5	1,6	101,3	16,9							
7,0	17,8	539	18,7	21,0	24,4	1,9	132,2	18,9	30,9						
8,0	19,8	537	20,9	22,3	25,9	2,2	162,6	20,3	30,3	92,4	150	20,9	25,8	1,2	70,1
9,0	21,5	149	19,4	40,8	46,9	1,5	169,2	29,1	99,1						
10,0	23,1	148	21,2	42,7	49,1	1,7	197,2	29,0	28,0						
11,0	24,6	147	22,7	44,3	50,9	2,0	223,9	28,8	26,8						
12,0	25,9	146	24,0	45,7	52,6	2,2	249,4	28,5	25,5						
13,0	27,1	145	25,2	47,0	54,0	2,5	273,5	28,2	24,1						
14,0	28,3	144	26,2	48,1	55,3	2,7	296,3	27,8	22,8						
15,0	29,3	142	27,1	49,3	56,7	3,0	317,9	27,4	21,5						
16,0	30,3	140	28,0	50,4	58,0	3,2	338,2	26,9	20,3						
17,0	31,2	137	28,7	51,7	59,4	3,5	357,4	26,5	19,2						
18,0	32,1	133	29,4	53,1	61,0	3,7	375,6	26,0	18,2						









## Anexo 9. Simulación y trozado del Sistema 3

### Datos Rodal Ingresados

Zona Seleccionada: **Zona 8**

Edad inicial: **8,0** años

Edad final: **18,0** años

Población inicial: **270** árb/ha

DAP medio inicial: **29,20** cm

Área basal Inicial: **18,08** m<sup>2</sup>/ha

DAP máximo inicial: **37,72** cm

Desvío estandar inicial DAP: **5,84** cm

Altura media dominante inicial: **22,88** m

Indice de Sitio: **26,62** m

### Datos Para Raleo

Edad: **8**

Árboles remanentes: **0**

Año 1er raleo: **0**

Año 2do raleo: **0**

Año 3er raleo: **0**

Año 4to raleo: **0**

Estimar IMA solo con volúmen en pie (de lo contrario se estimará incluyendo volúmen raleado acumulado)

### Eucalyptus grandis (2021)

Ejecutar simulación

Distribución Diamétrica

Simular Trozado

Dist. diamétrica árboles raleados

Generar Reporte

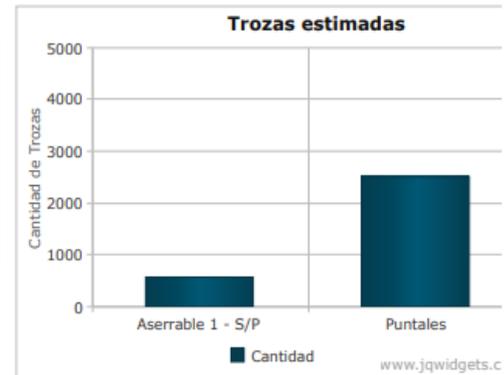
### IMA vs ICA

www.jqwidgets.com

Edad (años)	AMD (m)	Poblacion (arb/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvío DAP (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)	ICA (m <sup>3</sup> /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m <sup>3</sup> /ha)	Poblacion Post raleo (arb/ha)	AB raleo (m <sup>2</sup> /ha)	DAP raleo (cm)	Desvío raleo (cm)	Volumen s.c. raleo (m <sup>3</sup> /ha)
8,0	22,9	270	18,1	29,2	37,7	5,8	164,2	20,5							
9,0	24,6	268	20,0	30,8	39,0	6,1	195,0	21,7	30,8						
10,0	26,2	264	21,7	32,4	40,1	6,3	224,3	22,4	29,3						
11,0	27,6	259	23,2	33,8	41,1	6,5	252,0	22,9	27,7						
12,0	28,9	252	24,5	35,2	42,0	6,7	278,1	23,2	26,1						
13,0	30,0	246	25,7	36,4	42,8	6,8	302,6	23,3	24,5						
14,0	31,1	241	26,7	37,5	43,5	7,0	325,5	23,3	22,9						
15,0	32,1	237	27,6	38,5	44,3	7,1	347,0	23,1	21,5						
16,0	33,0	233	28,4	39,4	45,3	7,3	367,1	22,9	20,1						
17,0	33,9	229	29,2	40,3	46,3	7,4	386,0	22,7	18,9						
18,0	34,6	226	29,8	41,0	47,1	7,5	403,6	22,4	17,7						

Troza	Calidad de troza	Diametro mínimo (cm)	Largo de Troza (m)	Trozas por árbol	CANTIDAD	Volumen (m3/ha)
1	<b>Aserrable 1 - S/P</b>	25,00	4,80	99	567	285,7
2	<b>Aserrable 2 - S/P</b>	25,00	4,80	99	0	0,0
3	<b>Puntales</b>	11,00	1,20	99	2.515	113,9
4	<b>Troza 4</b>	0,00	0,00	0	0	0,0
5	<b>Troza 5</b>	0,00	0,00	0	0	0,0
6	<b>Troza 6</b>	0,00	0,00	0	0	0,0

Altura del tocón m

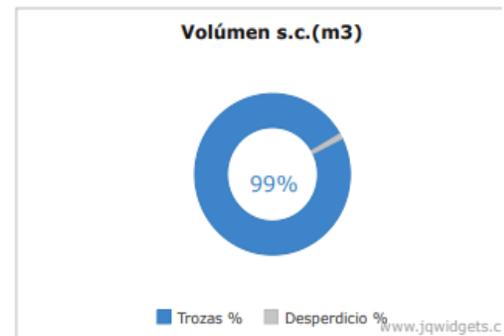


Calcular trozado de tala rasa

Análisis Económico



	Volumen (m3/ha)	%
Trozas	399,6	99,0
Desperdicio	4,0	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>403,6</b>	<b>100</b>



### Datos Rodal Ingresados

Zona Seleccionada: **Zona 8**

Edad inicial: **6,0** años

Edad final: **18,0** años

Población inicial: **540** árb/ha

DAP medio inicial: **19,49** cm

Área basal Inicial: **16,11** m<sup>2</sup>/ha

DAP máximo inicial: **22,53** cm

Desvío estandar inicial DAP: **1,55** cm

Altura media dominante inicial: **15,77** m

Índice de Sitio: **24,12** m

### Datos Para Raleo

Edad: **8,0**

Árboles remanentes: **270**

Año 2do raleo: **0**

Año 3er raleo: **0**

Año 4to raleo: **0**

Estimar IMA solo con volúmen en pie (de lo contrario se estimará incluyendo volúmen raleado acumulado)

### Eucalyptus grandis (2021)

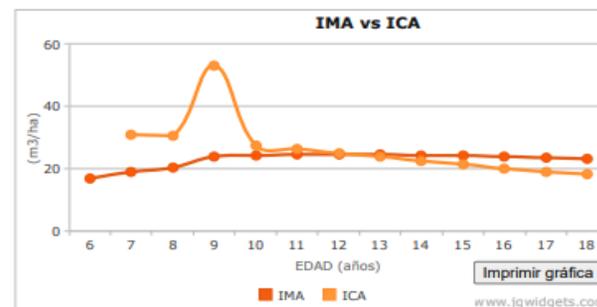
Ejecutar simulación

Distribución Diamétrica

Simular Trozado

Dist. diamétrica árboles raleados

Generar Reporte



Edad (años)	AMD (m)	Poblacion (arb/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	DAP medio (cm)	DAP max (cm)	Desvio DAP (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)	ICA (m <sup>3</sup> /ha/año)	Volumen s.c. Raleado (m <sup>3</sup> /ha)	Poblacion Post raleo (arb/ha)	AB raleo (m <sup>2</sup> /ha)	DAP raleo (cm)	Desvio raleo (cm)	Volumen s.c. raleo (m <sup>3</sup> /ha)
6,0	15,8	540	16,1	19,5	22,5	1,6	101,3	16,9							
7,0	17,8	539	18,7	21,0	24,4	1,9	132,2	18,9	30,9						
8,0	19,8	537	20,9	22,3	25,9	2,2	162,6	20,3	30,3	52,0	270	20,9	24,7	1,4	110,5
9,0	21,5	269	19,1	30,0	34,5	1,7	163,5	23,9	53,0						
10,0	23,1	268	20,8	31,4	36,1	1,9	190,9	24,3	27,4						
11,0	24,6	267	22,3	32,6	37,5	2,2	217,1	24,5	26,2						
12,0	25,9	266	23,6	33,6	38,7	2,5	242,1	24,5	24,9						
13,0	27,1	264	24,8	34,6	39,8	2,7	265,7	24,4	23,7						
14,0	28,3	262	25,9	35,5	40,8	3,0	288,1	24,3	22,4						
15,0	29,3	258	26,8	36,4	41,8	3,2	309,3	24,1	21,2						
16,0	30,3	252	27,7	37,4	43,0	3,5	329,3	23,8	20,1						
17,0	31,2	245	28,4	38,4	44,2	3,7	348,3	23,6	19,0						
18,0	32,1	236	29,1	39,6	45,6	4,0	366,4	23,2	18,1						



