



**INSTITUTO  
NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN  
AGROPECUARIA  
URUGUAY**



# **PRODUCCIÓN GANADERA Y FORESTAL: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS**

Febrero, 2019

**SERIE  
FPTA-INIA**

**70**

# PRODUCCIÓN GANADERA Y FORESTAL: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS

## Proyecto FPTA-300 Producción Ganadera y Forestal. Análisis de Sistemas de Producción Integrados

### Responsable del Proyecto:

Ing Agr. (MSc.) Adriana Bussoni<sup>1</sup>

### Equipo de Trabajo:

Ing. Agr. Mariana Boscana<sup>1</sup>

Ing. Agr. Fabian Varela<sup>1</sup>

Med. Vet. (MSc.) Eduardo Llanos<sup>2</sup>

Ing. Agr. (PhD) Valentin Picasso<sup>3, 2</sup>

Ing. Agr. (PhD) Frederick Cubbage<sup>4</sup>

Ing. Agr. (PhD) Margarita Alconada Magliano<sup>5</sup>

Bach. Facundo Carricaburu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Gestión y Economía Forestal, Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía Universidad de la República.

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

<sup>3</sup> Agronomy Department, University of Wisconsin - Madison, USA

<sup>4</sup> Department of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA

<sup>5</sup> Departamento de Ambiente y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.

**Título:** PRODUCCIÓN GANADERA Y FORESTAL: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS

**Responsable del Proyecto:** Ing. Agr. (MSc.) Adriana Bussoni

**Equipo de Trabajo:** Ing. Agr. Mariana Boscana  
Ing. Agr. Fabian Varela  
Med. Vet. (MSc.) Eduardo Llanos  
Ing. Agr. (PhD) Valentin Picasso<sup>3</sup>  
Ing. Agr. (PhD) Frederick Cubbage  
Ing. Agr. (PhD) Margarita Alconada Magliano  
Bach. Facundo Carricaburu

**Serie:** FPTA N° 70

© 2019, INIA

ISBN: 978-9974-38-417-0

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA  
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay  
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

# Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

## Integración de la Junta Directiva

D.M.T.V., PhD. José Luis Repetto - Presidente

Ing. Agr., Mag. Mariana Hill - Vicepresidenta



Ing. Agr. Jaime Gomes de Freitas

Ing. Agr. Jorge Peñaricano



Ing. Agr. Pablo Gorriti

Ing. Agr. Alberto Bozzo





## FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18º de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 40/00 del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.

b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.

c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos. De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.



## PRÓLOGO

Esta publicación presenta los principales resultados de tres estudios de caso en predios donde se produce ganado y madera en diferentes marcos de plantación, así como resultados de estudios derivados como un modelo de simulación como herramienta para la toma de decisiones y otros trabajos que derivaron del estudio núcleo.

El trabajo se llevó adelante por técnicos de Facultad de Agronomía de la UDELAR, financiado con el fondo INIA-FPTA-300. También se contó con el apoyo y colaboración de investigadores de la Universidad de la Plata, la Universidad de Carolina del Norte, Universidad de Wisconsin.

La publicación se divide en 4 partes: en el **Capítulo 1** se presentan los objetivos del proyecto, los principales antecedentes y los principales resultados productivos sobre 3 estudios de caso en 5 marcos de plantación con un énfasis en las variables de producción de madera, producción forrajera y en base a estos datos la proyección de un turno de rotación y del retorno económico y financiero en estos sistemas.

En el **Capítulo 2** se presenta un estudio de los grupos que combinan forestación y ganadería en los predios. En base al análisis de bases de datos censales se construyen grupos representativos con la estructura que presentan en común para finalmente reflexionar sobre la potencialidad del sector para incorporar superficie forestada integrada a la producción ganadera.

En uno de los predios en Maldonado se realiza por la Dra Alconada-Magliano, un estudio de campo interpretativo sobre las relaciones suelo agua-vegetación en donde se establece la importancia del agua superficial y subterránea, relieve, posición topográfica, materiales originales del suelo, propiedades edáficas, generación de micro-sitios, cobertura vegetal y productividad de madera, lo que conforma el **Capítulo 3**.

Finalmente el **Capítulo 4** presenta las bases de una aplicación disponible en internet que le permite al tomador de decisiones proyectar resultados en diferentes marcos de plantación. La diferente disposición de los árboles y la densidad en el potrero, incide en la intensidad de sombra y producción forrajera. En base a los resultados del trabajo de producción de materia seca se proyecta la carga ganadera a lo largo de un horizonte temporal, la producción de madera y los resultados económico-productivos. Adquiere relevancia la disposición de los árboles, como se muestra en los ejemplos se pueden lograr densidades similares con mayor área de aprovechamiento forrajero lo que mejora el sistema. Se incorpora a la base de la simulación, los registros históricos de producción de materia seca en campo natural provenientes de la toma de datos remotos del laboratorio Lart (UBA), suministradas por el Instituto Plan Agropecuario, para las zonas definidas en el programa.





## **AGRADECIMIENTOS**

Al INIA que nos aportó el soporte financiero y al Comité de seguimiento del proyecto por las sugerencias realizadas a lo largo de la ejecución. Muy especialmente nuestro agradecimiento a los productores y empresas que nos posibilitaron ejecutar el trabajo de campo y apoyaron la propuesta de investigación, en especial al Ing. Agr. Martín Pérez del Castillo, Ing. Agr. Ignacio López e Ing. Agr. Ricardo García Pintos, a las empresas y técnicos de las empresas Redalco e Iberpapel.

También a todos los colegas que nos aportaron su conocimiento y experiencia través de consejos y observaciones para completar el trabajo: Ing. Agr. (*PhD*) Pablo Boggiano, Ing. Agr. (*PhD*) Francisco Diéguez, Ing. Agr. Juan Cabris, a la Ing. Agr. (*MSc*) Leticia Martínez, Ing. Agr. (*MSc*) Oscar Bentancur, Ing. Agr. (*MSc*) Pablo Prieto, Ing. Agr. (*MSc*) Luis Gallo, Ing. Agr. Luis Petrini e Ing. Agr. Santiago Lombardo. Cabe aclarar que los colegas nombrados no son responsables por errores u omisiones cometidas bajo entera responsabilidad de los autores de esta Serie Técnica.



# CONTENIDO

Página

<b>CAPÍTULO 1. ESTUDIOS DE CASO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES: ANÁLISIS PRODUCTIVO Y ECONÓMICO .....</b>	<b>15</b>
1.RESUMEN .....	15
2.INTRODUCCIÓN .....	16
3.ANTECEDENTES .....	16
4.METODOLOGÍA.....	20
5.ÁREA DE ESTUDIO .....	21
Descripción de los Sistemas .....	22
6.TRABAJO DE CAMPO .....	26
7.EVALUACIÓN DE MADERA EN LOS SISTEMAS.....	27
8.RESULTADOS .....	31
Sistema 1 (S1) y Sistema 2 (S2), Departamento de Rocha .....	32
Sistema 3 (S3) y Sistema 4 (S4), Departamento de Maldonado.....	34
Sistema 5 (S5) y Sistema 6 (S6), Departamento de Florida .....	34
Comparación del espaciamiento relativo y densidad entre los sistemas ...	37
9. COMPONENTE FORRAJERO .....	42
10.PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN LOS SISTEMAS.....	44
11. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DE LOS SISTEMAS.....	52
12.ANÁLISIS Y CONCLUSIONES .....	56
Aspectos productivos .....	56
Aspectos económico financieros.....	56
13.CONSIDERACIONES FINALES .....	57
14.ALGUNAS OBSERVACIONES.....	57
15.BIBLIOGRAFÍA .....	58
<b>CAPITULO 2. GRUPOS CON PRODUCCIÓN CONJUNTA CARNE Y MADERA: LA EVOLUCIÓN RECIENTE DEL SECTOR EN EL URUGUAY .....</b>	<b>65</b>
RESUMEN .....	65
1. INTRODUCCIÓN .....	66
Metodología .....	69
Criterio para la base depurada .....	70
Variables empleadas para el agrupamiento .....	72
Descripción de la población .....	72
RESULTADOS .....	72
Los grupos encontrados.....	72
Descripción de los grupos .....	80
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85

<b>CAPITULO 3. ESTUDIO DE LA RELACIÓN SUELO - AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i> EN SILVOPASTOREO: CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>87</b>
RESUMEN .....	87
I INTRODUCCIÓN y ANTECEDENTES .....	88
I.1 Importancia del área de estudio y del <i>Eucalyptus globulus</i> .....	88
I.2 Suelos .....	88
I.3 Geología e hidrología .....	88
I.4 Exigencias edáficas de <i>Eucalyptus</i> spp. ....	89
I.5 Objetivo .....	90
II MATERIALES Y MÉTODOS .....	90
II.1 Tareas de gabinete iniciales. Análisis de la información disponible .....	90
II.2 Ubicación de parcelas en unidades cartográficas de estudios previos .....	91
II.3 Estudios en suelos realizados en el presente estudio .....	91
II.4 Estudios en agua .....	92
II.5 Elaboración de Mapa de suelos .....	92
III RESULTADOS .....	93
III.1 Suelos y agua .....	93
III.1.1 Características generales .....	93
III.1.2 Drenaje: ii) Permeabilidad - iii) Presencia o ausencia de una superficie freática próxima - iv) Acumulaciones de agua por impedancias mecánicas - v) Evapotranspiración .....	94
III.1.3 Tipos de suelo en parcelas estudiadas y características principales ..	97
III.1.3.1 Grupo 1- Hapludol lítico/típico .....	97
III.1.3.2 Grupo 2- Udortent lítico .....	100
III.1.3.3 Grupo 3- Endoacuol típico .....	103
III.1.3.4 Grupo 4- Hapludalf típico .....	105
III.1.3.5 Grupo 5- Endoacualf típico .....	107
III.1.3.6 Grupo 6- Argiacuol típico .....	110
III.1.3.7 Grupo 7- Endoacuent lítico .....	116
III.1.4 Mapas para la obtención del Mapa de suelos .....	119
III.1.4.1 Mapa de índice verde .....	119
III.1.4.2 Mapa curvas de nivel .....	119
III.1.4.3 Modelo numérico de elevación digital .....	120
III.1.5 Mapa de Suelos .....	120
IV CONCLUSIONES .....	122
V REFERENCIAS .....	125

<b>CAPITULO 4. MODELO DE SIMULACIÓN FORESTAL Y GANADERO</b>	
<b>SIMFORGAN .....</b>	<b>131</b>
INTRODUCCION.....	131
Proyección forestal.....	135
Oferta forrajera .....	137
Consumo animal .....	138
Análisis económico .....	140
Consideraciones finales .....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	<b>142</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>143</b>



Bussoni Adriana<sup>1</sup>,  
Boscana Mariana<sup>1</sup>,  
Llanos Eduardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gestión y Economía Forestal, Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía Universidad de la República.

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

# Capítulo 1

## Estudios de caso en Sistemas Silvopastoriles: análisis productivo y económico

Proyecto FPTA 300

Período de Ejecución: Marzo 2014-Junio 2017



### 1. RESUMEN

Los Sistemas Silvopastoriles son una forma de combinación entre al menos una especie leñosa y especies forrajeras utilizadas por el ganado. A partir de la existencia de un mercado creciente de la madera se abre la posibilidad de integrar ambos rubros de manera planificada en campos ganaderos, diversificando el ingreso del predio. Se presentan los resultados económico productivo de un estudio observacional en 3 establecimientos del Centro Sur y Sureste del país, que involucran 5 a 6 sistemas integrados en plantaciones, con edades comprendidas entre 4,6 a 7,6 años en la última medi-

ción. Los sistemas difieren en especie plantada: *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (S1, S2, S3 y S4), *Eucalyptus dunnii* (S5) y *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* (S6) y marco de plantación, S1: 3,5x2,27, S2: (2x2)+8, S3 y S4: 6x1,5, S5 (3x2)+15 y S6: 6x3. Todos los sistemas tienen orientación Norte-Sur y NE-SO cuando se debía cortar la pendiente. La diferencia de producción de madera fue significativa entre S1 y S2, lo que se explica por la densidad ya que no se demostró diferencias de volumen individual. Para el caso de S3 y S4 la diferencia significativa se debió a densidad y calidad de sitio combinado, ya que se encontraron diferencias significativas en



altura media (H) y altura media dominante (AMD). Con respecto a la producción de forraje el sistema en callejón S2 produce significativamente 42% más forraje que S1, sistema denso de plantación. Otro sistema en callejón, S5 produjo más que el campo natural contiguo en época estival sin restricciones de precipitaciones. Asimismo los sistemas en callejón (S2 y S5) o de menor densidad (S6) son los que obtuvieron mejor Tasa Interna de Retorno (TIR) con respecto a los sistemas más intensivos forestales. Estos sistemas **incrementan** el valor económico en el potrero en promedio en un **35%** al realizar las actividades ganadería y forestación de manera integrada. Los sistemas en donde la proporción de forestación es mayor: S1, S3, y S4 incrementan en promedio un 45% el valor económico producido, pero se restringe de manera importante la presencia de vacunos a partir de aproximadamente los 5 años de edad del cultivo forestal. Los resultados de estos sistemas indican que aun en densidades medias a bajas de plantación, estos sistemas permiten integrar y tener ventajas productivas y financieras, con respecto a sistemas de producciones no integradas. Se debe profundizar en aspectos de manejo silvicultural que propendan a obtener productos de alto valor y en aspectos de comercialización y mercado para productores ganaderos.

## 2. INTRODUCCIÓN

La diversificación del rubro ganadero y forestal optimiza el uso del suelo, diversifica los ingresos y brinda servicios ambientales, lo que es beneficioso para la producción agropecuaria nacional. Esta integración no está exenta de algunos desafíos ya que los suelos de mayor aptitud forestal se sitúan en zonas de ganadería de cría con baja productividad natural. Uruguay es un país que depende de la calidad y disponibilidad de sus recursos naturales para la generación de valor económico; este aumento en la intensidad de uso, plantea si es posible una mayor incorporación de la forestación en predios ganaderos y la sostenibilidad de los sistemas de producción conjunta ganado y madera desde el punto de vista productivo y económico.

Los Sistemas Silvopastoriles son alguna forma de combinación entre una especie leñosa y por lo menos una especie forrajera usada por el ganado (Somarrriba, 1992), esta combinación de rubros en general se ha dado de hecho en el Uruguay en donde el ganado pastorea montes con el objetivo principal de obtener madera, sin una planificación previa de combinar ambas actividades. En otros países la integración de ambas actividades se diseña antes de la plantación con el objetivo de obtener una mayor productividad, diversificación y disminución de riesgos (Peri et al., 2016).

En el presente trabajo consideramos Sistemas Silvopastoriles a la combinación de montes plantados y la presencia de forraje para ser utilizado por el ganado como se presenta en la campaña uruguaya. Una gran variedad de cuadros para sombra que fueron plantados en los albores de la producción ganadera, tuvieron la finalidad de brindar sombra y abrigo a rodeos y majadas (Porcile, 2007). Con el advenimiento y auge de la producción forestal industrial se presenta la oportunidad de que productores ganaderos puedan integrarse a la cadena forestal liderada por las grandes industrias.

El productor ganadero con requerimientos de área de pastoreo y sombra para el ganado debería tener a disposición combinaciones que optimicen el resultado económico productivo en su conjunto, lo que adquiere relevancia en establecimientos de mediana superficie donde le área de pastoreo presenta bajo margen de modificación.

## 3. ANTECEDENTES

Existe una amplia bibliografía sobre las interacciones que se dan en estos Sistemas que se podría dividir en:

- a) La incidencia del dosel arbóreo en la producción de forraje,
- b) Las modificaciones climáticas, sobre todo temperatura y humedad y su influencia en el bienestar animal. Interacciones con el medio ambiente, principalmente el efecto de la forestación en el agua,
- c) La producción de madera según la densidad y la disposición espacial.

d) El retorno económico de estos sistemas

### a) Incidencia del dosel arbóreo en la producción de forraje

En general los trabajos realizados establecen que una menor intensidad de luz hacia el estrato herbáceo por efecto de los árboles (copa, densidad, edad) puede determinar un menor potencial de crecimiento forrajero y modificar la composición botánica; sin embargo esto dependerá de la tolerancia de las especies al sombreado, de las características de los árboles y de la fertilidad del suelo (Bernardino y García, 2009; Gallo, 2006). Otro aspecto que incide en la disminución de producción de pasto es el rastreo de la cosecha forestal, lo que sería atenuado con la paulatina descomposición de los restos de cosecha (Nuberg et al., 2009).

Algunos de los aspectos positivos de los árboles hacia las pasturas son la protección frente a variaciones de temperatura y vientos, favoreciendo la supervivencia y permanencia del tapiz, mayor disponibilidad de humedad del suelo lo que permite prolongar el periodo de crecimiento, transferencia de nutrientes, entre otros (Polla, 2011; Gallo, 2006, Fassola, 2004; Belsky, 1994). El resultado de estas interacciones estará determinando la capacidad de carga animal de las pasturas.

Si bien, el sombreado de los árboles puede contribuir al confort térmico, el ganado puede afectar la producción de pasto al seleccionar áreas de pastoreo; en particular en suelos ácidos del trópico y subtropical con pérdida de estructura, el ganado puede ocasionar la compactación del suelo bajo dosel dada la mayor concentración de animales en las zonas de sombra (Paciullo et al., 2010; Nilsen et al., 2009). Por lo que pueden existir diferentes grados de consumo, de desgaste por pisoteo y otros daños físicos y de deposición de orina y heces en distintas áreas del sistema (Rusch, 2009).

En líneas generales los trabajos realizados en Uruguay en plantaciones de *Eucalyptus globulus* con edades de 1 a 5 años, no encuentran diferencias de la

producción de forraje bajo dosel tanto para campo natural como para especies forrajeras sembradas. El trabajo de Neme y Terzieff (2002), evalúa la productividad de pasturas naturales bajo plantaciones de *E. globulus* entre 1 a 4 años de edad y marco de plantación de 3 a 4 x 2 m sobre grupo de suelos CONEAT 2 en Cerro Colorado-Florida. Se concluye que el componente arbóreo sobre la pastura no determina una disminución en la producción de materia seca con respecto al promedio encontrado para la zona. El tapiz evaluado pastoreado por novillos, es capaz de soportar una carga animal similar a la de campo natural (0,6 UG/ha). Otras investigaciones (Almada y Garat, 2010) señalan que la productividad de diferentes leguminosas forrajeras (*Trifolium* sp., *Lotus* sp.) bajo la sombra de *E. globulus* sobre grupo de suelos CONEAT 4.2, no presentaron diferencias significativas entre las mismas en plantaciones de 5 años de edad con un marco de plantación de 4 m x 1,8 m instalado en Canelones (Paraje Piedras de Afilar). Según Gómez y Guerrin (2011), al evaluar el crecimiento de cuatro especies de gramíneas forrajes (*Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Bromus catharticus*) sembradas en un monte de *E. globulus* de año y medio de edad y con un marco de plantación de 4x1,8 sobre grupo de suelos CONEAT 4.2 en Canelones, destacan el buen comportamiento productivo que tuvo *Dactylis* (1.552 kg de MS/ha) en comparación con *Festuca* (1.523 kg de MS/ha), al igual que *Lolium* (1.795 kg de MS/ha) en relación a *Bromus* (1.238 kg de MS/ha).

En el Departamento de Tacuarembó, se realizaron ensayos con cultivos y pasturas, en la entrefila de plantación en el área experimental La Magnolia (Olmos et al., 2011); se compararon cinco sistemas de rotación cultivo - pasturas bajo tres densidades de plantación de *Eucalyptus grandis* (200, 400 y 1000 árboles por hectárea) con una distancia de 5x10, 5x5 y 5x2 m entre árboles. Los 5 sistemas propuestos fueron: cultivo de soja/verdeos de invierno; cultivo de maíz/verdeos de invierno; pradera convencional y *Bromus* con fertilización. Una densidad intermedia de 400 árboles/ha o densidades menores, permitirían la implementación de distintas alternativas de

cultivos y forrajes adaptados a las condiciones locales. A partir del tercer año de crecimiento se verificó el impacto negativo de la mayor densidad de árboles sobre el crecimiento de las pasturas.

### **b) Modificaciones en el ambiente**

Otras investigaciones han estado enfocadas al manejo y efecto de la sombra y abrigo sobre el bienestar animal y la ganancia de peso del ganado en plantaciones forestales (Callero, 2008) Simeone et al., 2010), concluyendo el efecto positivo de la sombra en la producción de carne. El último autor para la zona litoral Oeste, concluye que vaquillonas con acceso a áreas no forestadas de cortafuegos y bajos en época estival, registraron una ganancia de peso mayor en comparación a las vaquillonas sin acceso a sombra (0,772 vs.  $0,514 \pm 0,022$  kg/día) (Simeone et al., 2010) sobre suelos 03.40.

Una de principales preocupaciones de la sociedad uruguaya que generó la instalación de amplias áreas forestadas fue el efecto de las grandes masas arbóreas sobre el agua. Existen estudios nacionales que están en proceso y requieren una serie de años para poder evaluar las implicancias en todo el ciclo del cultivo y en sucesivos ciclos forestales.

De los trabajos nacionales revisados, los efectos en suelos con plantaciones forestales se podrían resumir en:

- a) Mayor evapotranspiración (Silveira y Alonso, 2009): + 78 mm,
- b) Disminución agua de escorrentía (Von Stackelberg, 2005) 15-18% pastura vs 23-27% forestación,
- c) Menor retención de agua en el horizonte B del suelo (Delgado et al., 2006): - 16 mm.
- d) Mayor recarga del acuífero sub-superficial en inviernos con exceso hídrico (Delgado et al., 2006).

No existen trabajos reportados con otros escenarios climáticos posibles como veranos lluviosos o inviernos secos lo cual es frecuente en el Uruguay.

Otros trabajos internacionales reportan que los sistemas agroforestales pueden aumentar la cantidad de agua en el suelo con respecto a pasturas, en regímenes de 825 mm/año y reducir el agua de escorrentía (Liu et al., 2004 citado por Nuberg et al., 2009), al igual que en trabajos nacionales. A escala regional Jobbágy et al. (2006) en base a una revisión amplia, reporta una reducción del rendimiento hidrológico de 176 mm/año, sin especificar las condiciones de estos resultados; en plantación de *Eucalyptus camaldulensis* de 40 años (Jobbágy & Jackson, 2004), un aumento de consumo del agua freática resultado de un demanda estimada de 1.500 mm anuales de lámina agua por parte de la plantación y precipitaciones de 1.000 mm, una parte de esa diferencia (300 mm) es extraída de la napa freática con acumulación de sales en el suelo forestado a lo largo de los años, sobre todo en condiciones de baja pendiente.

La relación en el largo plazo entre el agua consumida y las precipitaciones permitiría saber en qué condiciones la producción de pasto y madera se tornan competitivos. En el trabajo de Silveira y Alonso (2009) se expone esta función, propuesta originalmente por Zhang et al. (2001) en donde el modelo desarrollado relaciona, para una cuenca, la precipitación en el largo plazo y el uso de agua (Potencial Evapotranspiración) para pastura y forestación. De este trabajo resulta que el uso de agua se torna competitivo entre la forestación y la pastura por debajo de los 600 mm anuales, lo que también es reportado en Smettern & Harper, (2009). Estos eventos climáticos extremos han ocurrido puntualmente en el Uruguay; por ejemplo para la zona de estudio en Maldonado, el registro del año 2015, está aproximadamente en estos valores, si bien en los años siguientes se registraron precipitaciones cercanas a los promedios históricos.

### **c) La producción de madera según la densidad y la disposición espacial**

La elección de un determinado espaciamiento y densidad de árboles influye en el crecimiento individual y poblacio-

nal, lo que se manifiesta generalmente a partir de los 2,5 años para el sudeste de Brasil. Los estudios se centran en comparar el crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen para distintas especies de *Eucalyptus* sp. en diversos espaciamientos y densidades. Los resultados de trabajos internacionales indican que comparando iguales densidades en diferentes arreglos espaciales, los árboles en espaciamientos simples obtienen mayores valores individuales en DAP y altura y mayor volumen/ha con respecto a espaciamiento con callejones y filas dobles.

También se ha estudiado el efecto del espaciamiento individual del árbol encontrando una relación positiva en DAP y muy poca influencia sobre altura; Bernardo et al. (1998) evaluó el crecimiento en diámetro y altura para las especies *E. camaldulensis*, *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus pellita* para tres arreglos espaciales: 3x1,5 (2.222 árb/ha), 3x3 (1.100 árb/ha) y 4x3 (833 árb/ha) y para tres edades 15, 31 y 41 meses, en la región central de Minas Gerais, Brasil. El espaciado tuvo poco efecto sobre el crecimiento en altura para las especies en los periodos evaluados, sin embargo, tuvo efecto en el crecimiento en diámetro a partir de los 41 meses de edad. Los árboles creciendo en el mayor espaciamiento (4x3) presentaron una menor competencia y por lo tanto, fueron los que registraron un crecimiento individual en diámetro superior. Sin embargo, los incrementos de crecimiento en diámetro de los árboles individuales no son suficientes para compensar el efecto de los niveles de población, siendo los que presentaron más bajos valores por hectárea en el área basal.

Otros autores (Alves et al., 2014), evaluaron clones de *E. urophylla* x *E. grandis* en muy altas densidades: 3x1, 3x1,5, 3x2 y 3x2,5, para el tercer y el sexto año de edad en Avare, San Pablo, encontrando que a mayor espaciamiento de los árboles el crecimiento en diámetro aumenta. En cuanto a la altura, los árboles en arreglo de 3x1 mostraron el valor promedio mínimo, mientras que las otras separaciones, tendieron a ser mayores. En relación a la supervivencia a los 6 años de edad, se observó que la unidad de separación de 3x1 obtuvo menores

valores, lo que unido a la tendencia de menor crecimiento en DAP y altura, colabora con la evidencia de que está ocurriendo una mayor competencia entre las plantas por menor superficie de crecimiento.

Oliveira et al. (2009), evaluó la dinámica de crecimiento y productividad de una plantación clonal de *E. camaldulensis* x *E. urophylla* bajo 11 diferentes arreglos espaciales en un sistema agroforestal en 4 momentos del ciclo forestal (18, 27, 38 y 51 meses de edad) en Minas de Gerais, Brasil. Los arreglos espaciales en un rango de densidad entre 1.500 y 200 árb/ha fueron filas simples de 3,33x2, 3,33x3, 5x2, 10x2, 10x3, 10x4 y filas dobles de (3x4)+7, (3x3)+10, (3x4)+10, (3x3)+15, y filas dobles y simples de (3x4)+7+10. Algunos de los resultados señalan que aquellos árboles con mayor área útil por planta presentaron mayor crecimiento en diámetro y volumen por árbol registrándose, además, un crecimiento diferenciado en líneas simples cuando eran comprados con filas dobles. A su vez, la tasa de crecimiento disminuyó antes en el tiempo en arreglos más densos, tanto para el DAP como en altura. Sin embargo a nivel de población, tanto el área basal por hectárea como volumen por hectárea registran mayores valores dado el efecto de una mayor cantidad de árboles por ha.

Resultados similares fueron obtenidos por Ranieri et al. (2013), evaluando plantaciones clonales de *E. camaldulensis* desarrollados en sistemas de monocultivo y silvopastoril, en el estado de Minas Gerais, Brasil. El primero refiere a espaciamientos de 3,6x2,5 y 3,3x3,3 (1.111 y 918 árboles por hectárea, respectivamente), mientras que los segundos refieren a arreglos de filas dobles y callejones: (2x2)+10 m y (3x3)+9 (833 y 556 árboles por hectárea, respectivamente) y filas simples de 9x3 (370 árb/ha). Los resultados revelan que el arreglo de línea simple 9x3 alcanzó el mayor diámetro y volumen por árbol con un rendimiento muy similar al de línea doble (3x3)+9, éste último con una densidad al momento de la evaluación de 290 árb/ha. Los rendimientos más altos fueron obtenidos con las tres densidades iniciales más altas y con el arreglo de filas dobles de (2x2)+10, aunque con menores diámetros.

Estudios en el suroeste de Australia Occidental (Henskens et al., 2001) evaluaron los efectos del arreglo espacial sobre la forma, el crecimiento, la interceptación de luz y superficie fotosintética para plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 3 a 4 años de edad. Cuatro diseños de plantación fueron elegidos: 2x4 m, filas triples 2x4 m a intervalos de 10 m, filas individuales de 2x10 m y árboles aislados de 10x10 m. Algunos de los resultados señalan que el volumen y el crecimiento individual de los árboles fueron mayores en configuraciones abiertas, seguidos de los ampliamente espaciados y menores en el diseño más denso. En este sentido concluyen, que los bajos rendimientos de madera puede ser compensado por el mayor crecimiento de pasturas bajo dosel y mayor disponibilidad de luz, aumentando los beneficios globales en el sistema.

#### **d) El retorno económico**

Los valores de retorno económico varían con la densidad, la especie y el destino principal de la madera. En el trabajo de Lacorte et al. (2016) se compara el retorno de plantaciones con el único objetivo de producción de madera con plantaciones que integran ganadería y forestación resultando en un Retorno Anual de 170 US\$/ha/año y 162 US\$/ha/año, respectivamente a su vez la tasa interna de retorno TIR es mayor en plantaciones con ganadería (34% y 26%) que en los sistemas puros. Un trabajo que compara en 8 regiones de mundo, el retorno económico de la forestación (Cubbage et al., 2012) destaca que los sistemas integrados, amén de tener retorno económico positivo, son sistemas de baja utilización de insumos si evaluamos todo el ciclo; encontrándose que la Tasa Interna de Retorno puede obtenerse entre 7-12 % real sin considerar el costo de la tierra (Cubbage et al., 2014).

La relación entre Vaquillona y tonelada de madera producida es usada como un indicador del aporte que puede realizar la forestación al aumento de la capacidad financiera del sistema ganadero o de manera inversa cuántos kilos de carne son necesarios para instalar 1 ha forestada: estos valores resultan entre 13,4-22,7 kg/ton de madera y 80-174 kg/ha

plantada, respectivamente (Lacorte et al., 2016).

## **4. METODOLOGÍA**

Para el estudio de la producción de madera y forraje en las producciones integradas, se realizó un Estudio Comparativo Observacional en donde las inferencias son limitadas a las relaciones asociadas entre la respuesta obtenida y las condiciones de las mediciones en el tiempo que representan los tratamientos (Kleinn y Morales, 2003). En forestación, las parcelas experimentales, sirven a los efectos de aprender sobre los tratamientos en la población meta a lo largo del tiempo (Kleinn y Morales, 2003). Cuando no existe un diseño intencional experimental desde el comienzo del estudio, cada clase de condición sería una subpoblación de la cual se toman muestras para compararlas.

Algunos de las variables del componente arbóreo que cobran importancia en estos sistemas lo constituyen: la especie, el marco de plantación, la densidad, edad y la distribución de los árboles en la plantación. Los mismos determinan no sólo la producción de madera del sistema, sino que también la producción de forraje bajo dosel. A su vez, la elección de un determinado espaciamiento y densidad de los árboles en la plantación influyen en el crecimiento individual de los mismos.

A pesar de que la asociación árboles, ganado y pastura sería a priori positiva, no es indiferente a la calidad de los recursos naturales y la disponibilidad de los mismos como punto de partida en estos sistemas. Algunos de estos refieren al estado de degradación del suelo, la competencia que se establece por los insumos y la fertilidad del suelo, los nutrientes, la luz, el agua, el tiempo dedicado a los rubros y la mano de obra, entre otros. Por lo tanto, en los sistemas silvopastoriles el resultado en sus múltiples dimensiones en el largo plazo dependerá de diversos factores que a su vez interactúan entre sí.

Con la investigación se genera información que permite proyectar resultados económico-productivos para diferentes combinaciones de producción ganado-

madera en los sistemas evaluados. Los resultados podrán ser utilizados para integrar productores rurales de rubros tradicionales a la producción forestal, y aportar elementos para la elaboración de políticas en el sector.

Con este trabajo se busca responder: cuánto varía la producción de madera para los marcos de plantación establecidos; el rendimiento de forraje bajo dosel y la mejor combinación económica productiva en los sistemas de producción.

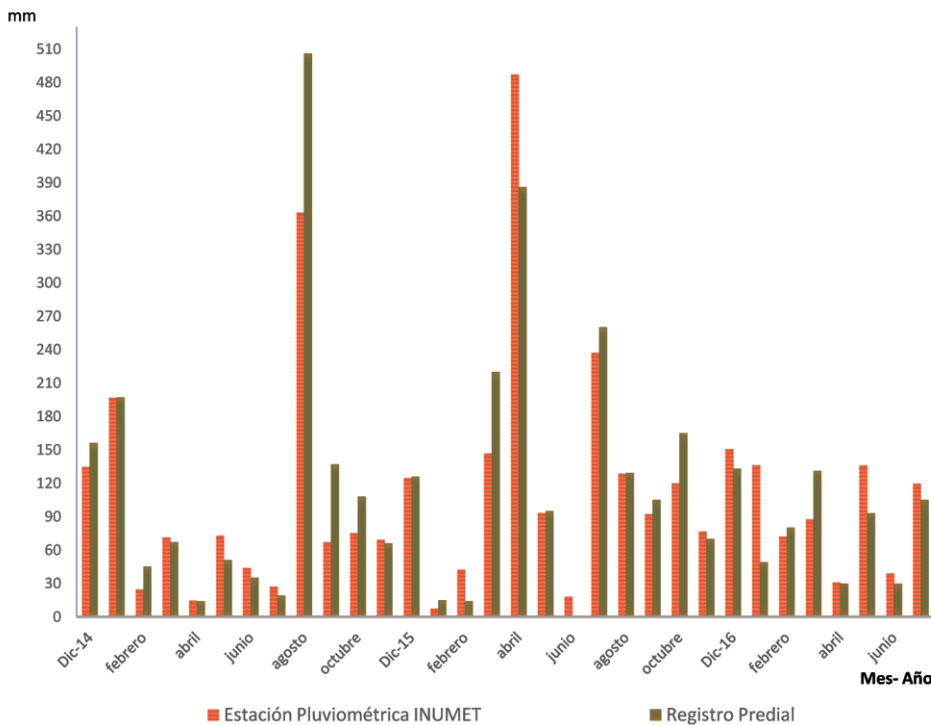
### 5. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en tres departamentos que involucran 6 Sistemas, Departamento de Rocha: Sistema 1 (S1) y Sistema 2 (S2), Departamento de Maldonado: Sistemas 3 (S3) y Sistema 4 (S4) y Departamento de Florida: Sistema 5 (S5) y Sistema 6 (S6). Los Departamentos están comprendidos en una región de clima templado con temperatura media anual de 17 °C, temperatura promedio en el mes más cálido (Enero) de 21 °C y 22,5 °C para Rocha y Maldonado, respectivamente, temperatura promedio en el mes más frío (Junio) de 12 °C y preci-

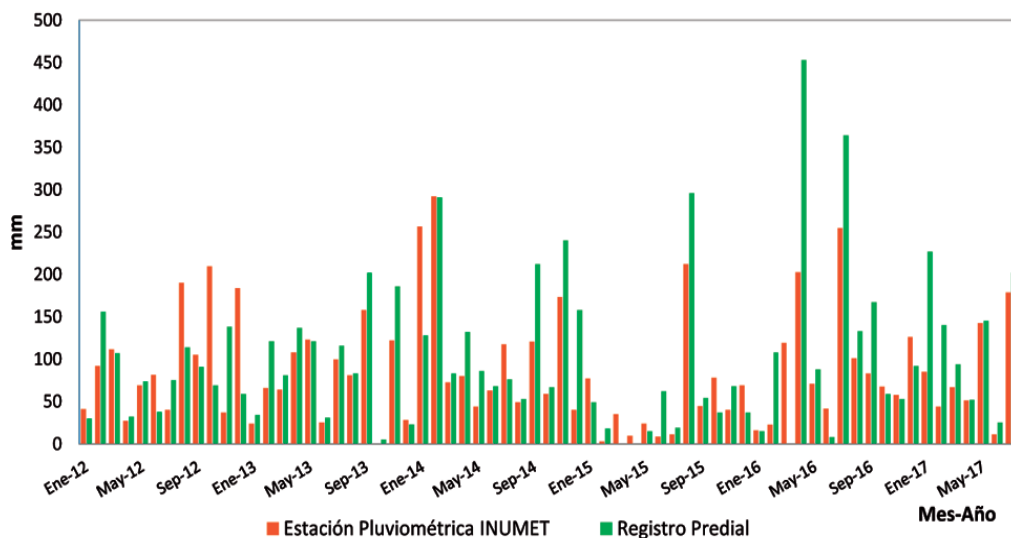
pitaciones promedio total de 1.200 mm anuales (INUMET, 2017) (Castaño et al., 2011)

En la región de Rocha la precipitación media anual está entre 1200 y 1300 mm (Castaño et al., 2011). Las precipitaciones anuales registradas a nivel predial en el período evaluado, fueron de 1371 mm y 1592 mm para el año 2015 y 2016 respectivamente, lo que representa un valor del orden del 14% por encima de la media. En el año 2015 se registraron lluvias de 132 mm en otoño y 560 mm para la estación de invierno, con un verano que superó las precipitaciones de los siguientes años (398 mm). Para el año 2016, el máximo de lluvias se registró en la estación de otoño (701 mm) y el mínimo en la estación estival (155 mm), siendo los registros para el invierno y primavera de 389 y 340 mm respectivamente. Las precipitaciones acumuladas hasta el mes de julio 2017 fueron de 518 mm, con valores de verano y otoño muy similares (262 y 254 mm respectivamente); para los meses invernales se tuvo un acumulado de 135 mm.

La región de Maldonado donde se encuentran S3 y S4, presenta un prome-



**Gráfico 1.** Precipitaciones promedio mensuales y efectivas (mm/mes), en S1 y S2. Fuente: (Castaño et al., 2011) y registros en predio.



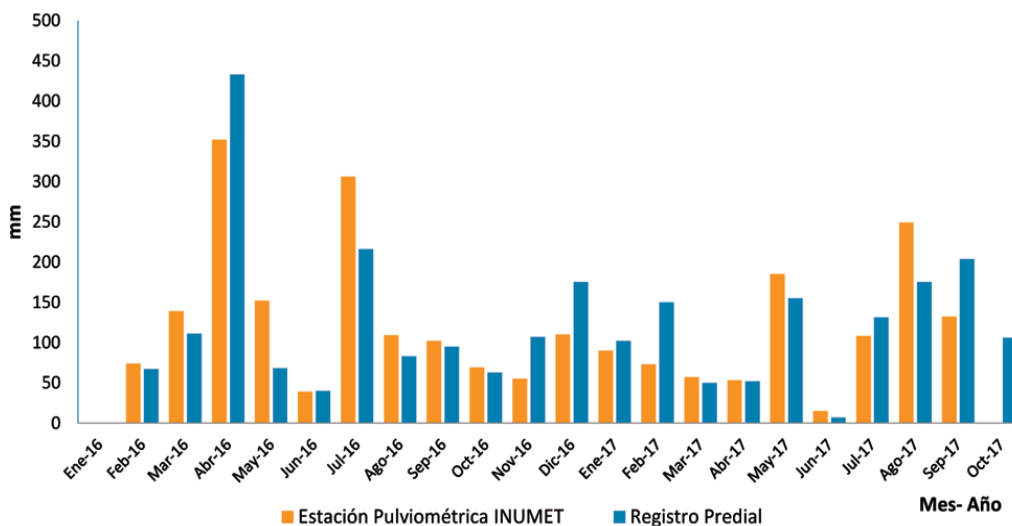
**Gráfico 2.** Precipitaciones promedio y registradas en S3 y S4. Fuente: (Castaño et al., 2011) y registros del productor.

dio histórico anual de 1.221 mm. Eventos climáticos extremos influyeron en resultados dispares en el período, por ejemplo en el año 2015 para Maldonado (S3 y S4), se registraron precipitaciones de 655 mm. Esto se refleja en la producción de forraje como se discute en los resultados, más adelante.

El estudio comprende desde Febrero del año 2014 hasta Junio del año 2017. Durante ese período se midieron variables dasométricas en cinco oportunidades para los S1 a S4 y en dos oportunidades para los S5 y S6 (Tabla 2)

### Descripción de los Sistemas

A los efectos del presente estudio se denomina Sistema a un área forestada con características de arreglo de plantación homogéneo, en donde se instalaron las parcelas de medición permanente, las que sirven a los efectos de comparar y estudiar la evolución de las principales variables productivas (madera y pasto) a lo largo del período. Los marcos de plantación se caracterizan por la distancia entre filas y la distancia entre árboles en la fila. Para alguno de los casos estudia-



**Gráfico 3.** Precipitaciones promedio y registradas en S5 y S6. Fuente: Castaño et al. (2011) y registros en el predio.

dos existe un amplio espacio entre filas que se denomina callejón.

Los S1 y S2 se encuentran en el departamento de Rocha, tal como se presenta en la Tabla 1. El Sistema 1 (S1) presenta un marco de plantación de 3,5 x 2,27 m correspondiente a distancia entre filas y entre árboles dentro de la fila, respectivamente, lo que equivale a una densidad inicial de 1.258 árb/ha. Para S2, el marco de plantación es de 2 m entre filas y 2 m de distancia entre árboles, con separación de un callejón de 8 m entre las filas: (2x2) + 8 m, lo que equivale a una densidad inicial de 1.000 árb/ha.

Los dos Sistemas S1 y S2 se encuentran en el mismo predio, Departamento de Rocha entre 60-100 metros sobre el nivel del mar (msnm) y pendientes entre 5 -15%.

Los turnos de corta tanto para el Sistema S1 y S2 son de 10-12 años, siendo el destino industrial el chipeado de la madera. La especialización ganadera es la recría e invernada; en términos generales, se incorporan a la plantación la entrada al sistema son novillos de 1 a 2 años con aproximadamente 240 kg permaneciendo de 2 a 3 años hasta lograr un peso final de 480-490 kg (Novi-



**Ilustración 1.** Sistema 2 (izquierda) y Sistema 1 (derecha) en Rocha



**Ilustración 2.** Sistema 2 con callejones de 8 m.



**Tabla 1.** Descripción de los Sistemas en estudio.

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6
Casos	SSP1	SSP2	SSP4	SSP3	SSP5	SSP6
Departamento	Rocha	Rocha	Maldonado	Maldonado	Florida	Florida
Especies	<i>E. globulus</i> + 25% <i>E. globulus ssp.maidenii</i>	<i>E. globulus</i> + 25% <i>E. globulus ssp.maidenii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. globulus ssp.maidenii</i>
Plantación	Primavera 2011	Primavera 2011	Primavera 2012	Primavera 2012	2012	2009
Edad última medición (meses)	68	68	57	57	55	91
Padrones	26591	26591	22301	22300	18615	18616
Suelos predominantes (Coneat Grupo)	2.12	2.12	2.21	2.12	5.02b	2.12 y 5.02b
Latitud	34° 03'55.18"S	34° 03'32.03"S	34° 41'12.33"S	34° 41'22.64"S	33° 40'23.86"S	33° 40'23.18"
Longitud	54° 04'45.34"O	54° 05'11.47"O	55° 08'20.89"O	55° 08'56.91"O	55° 38'0.32"O	55° 36'58.48
Superficie padrón (ha)	334	334	109	89	695	695
Superficie forestada (ha)	26.3 (22.7+3.6)	85.93	76.3	62	21	40
Estrato	1, 2 y 3	1, 2 y 3	1 y 2	1, 2 y 3	3	3

Los estratos, se definen a partir de la altura sobre nivel del mar: Estrato 1: <70 m, Estrato 2: 70-90 m, Estrato 3: > 90 m.

**Tabla 2.** Principales características de las parcelas y Sistemas de plantación.

	Sistema1	Sistema2	Sistema3	Sistema4	Sistema 5	Sistema 6
Tratamientos	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5	SSP6
Departamento	Rocha	Rocha	Maldonado	Maldonado	Florida	Florida
Número parcelas	15	15	15	16	6	4
Largo parcelas	20	20	20	20	30	20
Ancho parcelas	10.5	20	18	18	17	18
Número de hileras	3	4	3	3	2	3
N° árboles promedio/parcela	30	40	40	40	30	21
Espacio inicial por planta (m <sup>2</sup> /pl)	8	10	9	9	17	18
Densidad Inicial	1.250	1.000	1.100	1.100	555	555
Marco de plantación	3,5 x 2,27	(2 x 2)+ 8	6 x 1,5	6 x 1,5	(3 x 2) +15	6 x 3
Edad de medición (meses)	36, 41, 45, 51, 68	36, 41, 45, 51, 68	19, 25, 31, 36, 57	19, 25, 31, 36, 57	45, 55	81, 91

llos de más de 3 años), con un sistema de pastoreo rotativo entre áreas forestadas y áreas con mejoramientos forrajeros. El productor estima una producción de carne de 85-105 kg/año. Los mejores suelos evaluados para Silvopastoreo son los 2.12, mientras que los suelos 2.11 han presentado un bajo rendimiento y no se asignarán en el futuro a este rubro.

Los Sistemas 3 (S3) y 4 (S4) están ubicados en el Departamento de Maldonado y totalizan 408 ha, la plantación se realizó en la Primavera del 2012 a 6 x 1,5 m correspondiente a una densidad inicial de 1.100 árb/ha la que se estima cosechar a partir de los 10 años de edad con destino chipeado. Las características de suelo en los dos padrones son diferen-


**Ilustración 3.** Vista de Sistema S6, plantación de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenni*, a los 91 meses de edad en filas simples, Departamento de Florida.

tes, descritos más adelante (un estudio detallado también en capítulo 5). La empresa propietaria de la forestación arrendó campo a una empresa ganadera vinculada con el negocio de cosecha forestal hasta el año 2015. Las categorías manejadas entre el año de plantación y los 4 años fueron terneros de 8 a 15 meses de edad y en algunos potreros vaquillonas de primera parición. El producto obtenido fueron novillitos y novillos entre 150-250 kg. Se calcula que la ganancia de peso individual fue de 100 kg/año para las condiciones dadas. Cabe agregar que estos padrones tuvieron mejoramiento con Lotus Rincón en el año 2008. Una característica de la vegetación bajo dosel es la presencia importante de malezas como Carqueja a partir de la plantación, lo que disminuye la disponibilidad y calidad de forraje con la que se contaba inicialmente. Para la plantación se aplicó herbicida total antes de realizar el laboreo en franjas.

Los Sistemas 5 (S5) y 6 (S6) se encuentran en un mismo predio cercano a la localidad de Cerro Colorado. Ambos potreros recibieron mejoramiento previo a tomar la decisión de la forestación con Lotus Rincón (*Lotus subbiflorus* cv El Rincón). En general los mejoramientos en cobertura luego de la plantación, por ejemplo, Trébol Blanco con Festuca en el S5, no dieron los resultados esperados.

El manejo ganadero bajo la forestación se realizó incorporando categorías a partir de los 9 meses de edad, en general se maneja alta carga ganadera ya que es un establecimiento que cuenta con praderas y mejoramientos.

Los tipos de suelo predominante en el Sistema 3, estrato 3 (zonas más altas) son Brunosoles subéutrico y dístrico y Litosoles subéutrico. En el Sistema 4 en estrato 1 (zonas más bajas) predomina Brunosoles subéutrico y dístrico. Un resumen detallado de los tipos de suelo en S3 y S4, se puede ver en el Anexo de capítulo de Suelos. El Sistema 5 presenta como suelos predominantes los 5.02b.

## 6. TRABAJO DE CAMPO

Se midió entre los años 2014-2017 en todos los individuos en la parcela altura total (Ht), altura de copa (Hc), diámetro a 1,3 m de alto (DAP), Diámetros de copa, distancia entre plantas y distancia entre hileras plantadas. Se realizaron entre 2 a 6 mediciones, empleando cinta métrica, relascopeo de Bitterlich y clinómetro de Haglöf.

En Sistemas S3 y S4 en Maldonado las parcelas de medición poseen 18 m de ancho (Tabla 2) y abarcan 3 hileras separadas por 6 m + 3 m a cada lado (6 m en total). El largo de la parcela es de 20 m



**Ilustración 4.** Plantación de *E. dunnii* en filas dobles Sistema 5, Departamento de Florida



**Ilustración 5.** Plantación de *E. globulus* ssp. *maidenii*, en marco de 6 x 3 Sistema S6, departamento de Florida

que abarca potencialmente 13 plantas por fila y en total 36 plantas por parcela, con una superficie de 360 m<sup>2</sup>. En Sistema 1 y 2 de Rocha se seleccionó las zonas con Campo Natural sin mejoramiento, con un largo de parcela de 20 m abarcando 3 y 4 filas, lo que se traduce en una superficie de 216 y 400 m<sup>2</sup> respectivamente. Las parcelas en Sistema S5 comprenden las dos filas centrales hasta el centro de los dos callejones contiguos. Para el caso de S6 las parcelas están compuestas por las tres filas y 20 m de largo.

Las parcelas se establecieron buscando puntos en donde la pendiente fuera homogénea y la distancia entre las hileras se mantuviera, evitando cambios en la inclinación. Con respecto a la forma de la parcela, se evaluaron diferentes dimensiones y formas; la principal ventaja de la parcela circular es que minimiza el problema de los árboles borde, en comparación a las formas cuadrada o rectangular en igual superficie (Prodan et al., 1997). Para el trabajo se emplearon parcelas de forma rectangular ya que las parcelas circulares se señalan como poco eficientes con radios por encima de 15m (Sanquetta et al., 2006), además de no captar en forma homogénea el efecto orientación. Asimismo las parcelas rectangulares son utilizadas cuando se

pretende captar una mayor variabilidad en la forestación.

Las dimensiones de las parcelas de los otros Sistemas se referencian en la Tabla 2. Se aplicó muestreo al azar estratificado, en función del suelo y altura sobre nivel del mar y orientación, con un error promedio de muestreo del 7%.

## 7. EVALUACIÓN DE MADERA EN LOS SISTEMAS

Se relevaron las principales variables dasométricas: Diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura (Ht), Altura de copa, Altura media de los dominantes (AMD), para todos los individuos de la parcela. Posteriormente se calcula por individuo y por área el Área Basal (AB) y el Volumen; se establece si hay diferencias entre los Sistemas S1y S2 por un lado, Sistemas S3 y S4 y se realiza una descripción de los Sistemas S5 y S6 (Florida).

Para el cálculo de volumen por árbol, se utilizó la Ecuación 1 (Moras and Vallejos-Barra, 2013) para *Eucalyptus globulus* y la Ecuación 2 ajustada (Schneider et al., 1997) para *Eucalyptus dunnii*.

$$\ln V = -9,75 + 0,93 \ln(DAP^2 H_t) + \varepsilon \quad (1)$$

$$\ln V = -10,14 + 0,99 \ln(DAP^2 H_t) + \varepsilon \quad (2)$$

### Análisis estadístico producción de madera

Las diferencias de los valores en cada medición y por estrato se evalúan a partir de procedimiento Anova y Anovacontrast de Stata 15 (StataCorp LP, 2015) y paquete estadístico SAS (SAS, 2012).

Se ajustaron modelos lineales generales de medidas repetidas en el tiempo, en donde se usó un modelo de correlación de tipo autoregresivo de orden 1. Para el caso de S1 y S2 no se pudo integrar el mes 36 por tener un estrato menos. En ese caso se analiza el mes 36 separado (solo efecto marco +estrato + marco\*estrato).

En los S1 y S2, se probó el efecto de sistema, estrato, estación de medición y sus interacciones. Para los sistemas S3 y S4, se consideró el efecto estrato anidado en sistema, dado que no existieron todos los estratos en ambos sistemas.

El análisis estadístico de significancia de medias se realizó aplicando el método de Tukey-Kramer que permite comparaciones múltiples entre subgrupos cuando los errores estándar pueden ser diferentes, lo que ocurre en este caso por el diferente número de árboles medidos en cada grupo.

Para el análisis de los Sistemas S5 y S6 se construyeron intervalos para cada media; por lo que la comparación entre medias se hace en forma indirecta comparando los intervalos de confianza.

### Medidas de ocupación del espacio

Como indicadores indirectos de ocupación de la forestación en las parcelas e indirectamente la producción bajo dosel, se utilizó el Índice de espaciamiento relativo (IER), como indicador del área relativa libre para el crecimiento de forraje. Este indicador (Ecuación 3) fue propuesto originalmente por (Becking, 1953; Hart, 1928) para prescripciones de raleo, relaciona el área promedio del árbol en la parcela con la Altura Media Dominante (AMD).

$$ER = \frac{\sqrt{10.000/N}}{AMD} \quad (3)$$

siendo N el número de árboles/ha.

En rodales de mayor edad el ER tiende a ser asintótico de manera poco dependiente a la densidad y de la calidad del sitio (Clutter et al., 1992). Tanto el Área Basal como el índice de espaciamiento son considerados útiles como indicadores de producción de forraje (Gallo Caceres, 1998), este autor también utilizó el Índice de Reineke, factor de cobertura de copa, índice de espaciamiento relativo, y la biomasa de las hojas.

Otro Indicador que se calcula es el de Densidad Relativa (DR), propuesta por Curtis (1982) en donde AB es el Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) y D es el Diámetro Medio Cuadrático (Ecuación 4).

$$DR = \frac{AB}{\sqrt{D}} \quad (4)$$

### Proyección de madera y análisis financiero

Las ecuaciones para proyectar volumen de madera en pie, necesario para el cálculo del retorno financiero, pueden ser desarrolladas a partir de datos de inventario repetidos en el tiempo (Clutter et al., 1992). Se parte del supuesto que el producto final es la cosecha de madera con un solo destino y sin manejo silvicultural intermedio como poda o raleo. En estos casos la proyección de rendimiento por unidad de superficie es suficiente (Clutter et al., 1992). En el trabajo se utilizaron los valores promedio de cada sistema para proyectar la producción de madera a turno final, empleando el software SAG de INIA (Methol, 2006a; Hirigoyen and Rachid, 2014; Methol, 2008; Methol, Rachid and Hirigoyen, 2015) para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii*.

Los valores obtenidos se utilizaron para proyectar los resultados económico financieros, los costos de plantación forestal se estiman en base a informes de las empresas, por ejemplo en un módulo de 50 ha para 1.250 pl/ha que sería el caso de Sistema 1 (Tabla 3).

Se utilizaron los indicadores financieros Valor Actual Neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y Renta equivalente Anual. Adicionalmente se propone el Índice Económico de Tierra Equivalente

(LEER) que es una adaptación de LER (Kantor, 1999, Singh, 2006), índice que compara la producción conjunta con la producción individual de cada actividad. Si el valor es mayor a 1 se interpreta que la producción integrada, tiene el efecto de producir un equivalente de esa magnitud en 1 ha de tierra.

El índice modificado LEER (Ecuación 5) relaciona el valor económico de la producción conjunta respecto a la producción individual por unidad de superficie.

$$LEER = \frac{P_{carne\ conjunta}}{P_{carne}} + \frac{P_{forestal\ conjunta}}{P_{madera}} \quad (5)$$

donde, *Pcarne conjunta* es el Margen Bruto (MB) de la producción de carne

considerando tanto el ganado bajo monte como el ganado en los espacios libres de forestación (cortafuegos y caminos), *Pforestal conjunta* es el valor (VAN) anualizado de la forestación, en el sistema productivo de silvopastoreo. Finalmente, *Pcarne* y *Pmadera* es el MB y VAN anualizado de producir exclusivamente ganado y exclusivamente madera, respectivamente.

El costo de oportunidad utilizado para el cálculo de los indicadores financieros es 3%, considerando la rentabilidad ganadera de largo plazo en Uruguay para la producción de cría y recria. El precio de la madera en pie se calcula como un precio residual; para el análisis financie-

**Tabla 3.** Ejemplo de costos de plantación (US\$/ha) para un módulo de 50 ha, con 1.250 pl/ha iniciales\*.

Item	Año	Unidad	US\$/unidad	Unidades/ha	(US\$/ha)
<b>Preparación del sitio</b>					
Hormiguicida + Aplicación	0	US\$/Kg	5	3,4	17
Marcación de curvas	0	US\$/ha	5	1	5
Herbicida pre-emergente	0	US\$/l	6	5	30
Aplicación herbicida línea	0	US\$/ha	8	1	8
Alambrado	0	US\$/m	1,5	9	13,5
<b>Laboreo</b>					
Subsolado	0	US\$/ha	130	1	130
Excéntrica	0	US\$/ha	70	1	70
Disquera	0	US\$/ha	45	1	45
Taipera	0	US\$/ha	57	1	57
<b>Pre-Plantación</b>					
Fertilizante	0, 1	US\$/kg	0,5	100	50
Mano Obra Plantación	0	US\$/ha	402	1	402
Distribución de plantas	0	US\$/ha	150	1	150
<b>Plantación</b>					
Plantines	0	US\$/pl	0,12	1250	150
Replantación	1	US\$/pl			15
<b>Tratamientos periódicos</b>					
Control de hormigas	0, 1	US\$/Kg	17	1	17
Herbicida	1	US\$/l	6	5	30
<b>Otros costos</b>					
Administración	n	US\$/ha	10		10

\*Valores en Dólares a Julio 2017.

ro se asumen los siguientes precios: *E. globulus* 20-23US\$/m<sup>3</sup>, *E. globulus* ssp, *maidenii* 20-22US\$/m<sup>3</sup> y *E dunnii* 19-20 US\$/m<sup>3</sup>.

La cosecha se realiza con equipamiento de Harvester + Forwarder. Las variables que más afectan los costos de cosecha son el volumen medio por árbol y la distancia a la zona de apilado cuando esta pasa a ser mayor a 300 m (Jirousek et al., 2007). Por lo dicho, los costos de cosecha y extracción que depende del volumen y la especie se consideran para las diferentes plantaciones con valores que varían entre 12-17 US\$/m<sup>3</sup> y 3,9-4,2 US\$/m<sup>3</sup> para cosecha y extracción, respectivamente. El costo de flete se calcula para 150 km a un precio de 0,11 US\$/ton km.

### Forraje bajo dosel

La cantidad de forraje producido bajo dosel, se evaluó instalando jaulas móviles (Ilustración 5); se cosechó el forraje producido a 1,5 cm del suelo, cada 45-60 días en invierno y cada 30-45 días en primavera verano para el Sistema 1 y 2. Para el caso del Sistema 3 y 4 las evaluaciones fueron más espaciadas, cada 60 a 120 días.

Las muestras obtenidas se procesaron en estufa de aire forzado en dos etapas: en una primera fase se seca a 60 °C; luego a 105 °C, sobre la que se determina por-

centaje de Materia Seca (AOAC Internacional, 1990). Los valores de Proteína Cruda (PC) se obtienen por el procedimiento Kjeldahl (Horwitz and Latimer, 2007) y los de Fibra Detergente Ácida (FDA) por procedimiento Ankom (AnkomTechnology, 2015) de forma secuencial, a partir de una submuestra secada a 60 °C y posteriormente corregida a 105 °C. La distribución de las jaulas por Sistema y estrato se presentan en la Tabla 4.

Los resultados de materia seca obtenidos en laboratorio se presentan por kg MS /ha/estación y se comparan a través del procedimiento anova y anovacontrast de Stata (StataCorp LP, 2015). A partir de los datos de campo se estima la carga ganadera, aplicando el concepto de carga segura (SNIA 2016), a partir de la Ecuación 6.

$$Carga\ Segura\ (UG/ha) = \frac{(PPNA * 50\%)}{(2\% * 360\ kg\ peso\ vivo)} \quad (6)$$

donde PPNA<sup>1</sup> es la productividad primaria neta expresada en base estacional (kgMS/ha). La carga segura se calcula en base al requerimiento promedio del 2 al 3% de peso vivo (360 kg) de 1 Unidad Ganadera (UG).

<sup>1</sup> Datos proporcionados por el Ing. Agr. Santiago Lombardo del Instituto Plan Agropecuario.



**Ilustración 6.** Diseño de jaula para medición de forraje

**Tabla 4.** Distribución de las Jaulas por Sistema y estrato.

Especie	Estrato	Sistema	Parcelas	Jaulas por parcela	Total de jaulas	Jaulas testigo
<i>E. globulus</i>	1	1	2	2	4	2
		2	2	2	4	2
	2	1	2	2	4	2
		2	2	2	4	2
Total			8	--	16	8
<i>E. globulus</i>	1	3	--	--	--	--
		4	1	2	2	--
	2	3	--	--	--	--
		4	1	2	2	--
	3	3	3	2	6	2
		4	1	2	2	2
Total			6	--	12	4
<i>E. dunnii</i>	3	5	3	2	6	2
<i>E. maidenii</i>	3	6	2	2	4	2
Total			5	--	10	4

Las jaulas instaladas en el predio de Florida (S5 y S6) se encuentran por encima de los 90 m, por lo que todas corresponden al estrato 3. En el Sistema 5, con callejones promedio de 14 m se instalaron jaulas en el medio del callejón y en el tercio lindante a las filas dobles, de tal manera de estimar la producción de forraje promedio del sistema. Con los datos obtenidos de materia seca se proyecta la carga ganadera en el sistema. Estos dos sistemas tienen mediciones de dos ejercicios: otoño, primavera 2016 y verano y otoño 2017. Mientras que para Sistema 1 y 2 se realizaron en total 12 cortes entre el año 2015 y 2017, abarcando desde la estación de otoño del año 2015 al otoño 2017. Las mismas se establecieron en los estratos 1 (< 70 m.s.n.m.) y estrato 2 (entre 70 a 90 m.s.n.m.). La orientación de las filas de plantación seleccionadas mayoritariamente son Norte-Sur. Los valores 2016 se compararon con valores LART (UBA, 2016) en potreros con campo natural ubicados de manera contigua a las dos forestaciones.

## 8. RESULTADOS

### Evaluación de madera

#### 1. Densidad

La densidad de árboles inicial promedio fue de 1.318 árb/ha y de 1.021 árb/ha para Sistema 1 y 2, respectivamente.

Para la última medición realizada a los 68 meses de edad, la densidad promedio resultó en 974 árb/ha y 715 árb/ha para Sistema S1 y S2, respectivamente, lo que equivale a una sobrevivencia promedio del orden del 74% y 70%. Si bien la pérdida de árboles no refleja diferencias considerables entre Sistemas S1 y S2, existen diferencias por estrato: a los 68 meses de edad, el estrato 1 presenta un 49% y 36% de pérdida para Sistema 2 y 1 respectivamente con respecto a la densidad inicial. En contraposición el estrato 3 presenta menores porcentajes de pérdida de densidad respecto a la inicial, siendo para sistema 1 del 17% y para el sistema 2 del orden del 15% (Tabla 5).

Los sistemas S3 y S4 tienen el mismo marco de plantación pero están ubicados en dos zonas topográficas diferentes. En líneas generales el sistema 3 se encuentra en una zona más alta y bien drenada (se puede leer el trabajo detallado en el Capítulo de Suelos de este documento), mientras que el sistema 4 está ubicada en un área más baja, cercana a un arroyo y con zonas anegables. Para Sistemas S3 y S4, la densidad promedio inicial es de 1.273 árb/ha y 1.305 árb/ha (Tabla 6), con una disminución de densidad a los 36 meses de un 15% y un 19%, respectivamente. A su vez, el estrato 3 en el S4 presenta diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) en las sucesivas mediciones temporales, mientras que en el S3 no existen diferencias significativas de densidad



**Tabla 5.** Densidad de plantación en diferentes edades (meses) según Sistema y estrato, S1 y S2, Rocha.

Estrato	Densidad inicial (árbs/ha)	Mes de plantación				
		36	41	45	51	68
<b>Sistema 1</b>						
1	1240	s/d	842	812	799	799
2	1317	1015	978	972	965	965
3	1397	1203	1194	1186	1186	1157
<b>Sistema 2</b>						
1	987	551	543	518	518	502
2	1042	820	820	798	788	766
3	1034	903	903	883	883	877

**Tabla 6.** Densidad en los meses S3 y S4, Maldonado.

Estrato	Densidad inicial (árbs/ha)	Mes de plantación				
		19	25	31	36	57
<b>Sistema 3</b>						
2	1290	1177	1205	1149	1149 <sup>c</sup>	1149
3	1257	1118	1127 <sup>b</sup>	1014	1014 <sup>c</sup>	929
<b>Sistema 4</b>						
1	1273	1036	965	897	878	859
2	1336	1204	1136	1092	1061	1082
3	1307	1221	1221	1221	1221	1221

entre estratos 1 y 2 a lo largo de las mediciones.

El Sistema 5 presenta una densidad promedio de 428 árb/ha y el Sistema 6, 570 árb/ha, para las dos mediciones.

**Principales resultados dasométricos**

*Sistema 1 (S1) y Sistema 2 (S2), departamento de Rocha*

Para las variables de árbol individual: DAP, Área Basal, Altura media total Ht y volumen se presenta un resumen de los resultados obtenidos (Tabla 7). En general, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) comparando S1 con S2 en cada uno de los meses en evaluación, para las variables presentadas. La excepción corresponde a la variable DAP a los 68 meses de edad entre sistemas. Los resultados indican efecto del estrato

para el crecimiento individual en DAP y Ht, cuyo nivel de significancia varía según la edad del cultivo, siendo el estrato 1 el que presentó menores crecimientos en contraposición al Estrato 3 (ver Tabla 35 en Anexo 1).

Tanto para Área Basal como Volumen se presentan diferencias a partir de los 41 y 45 meses. En Tabla 8 el área basal inicial (36 meses de edad) fue 7,1 m<sup>2</sup>/ha y de 5,7 m<sup>2</sup>/ha para Sistema 1 y 2, respectivamente. Para la última medición realizada a los 68 meses de edad, el resultado fue de 14,8 m<sup>2</sup>/ha para S1 y 10,6 m<sup>2</sup>/ha para S2, lo que equivale a un aumento promedio del orden del 52% y 46%, respectivamente. Para volumen por unidad de superficie, a los 36 meses de edad se registraron valores promedios de 31,7 m<sup>3</sup>/ha para S1 y de 24,9 m<sup>3</sup>/ha para S2. Para la última medición, el volumen

**Tabla 7.** Medias de Diámetro (DAP), Área Basal (AB), Altura (Ht) y Volumen individual (Vol), S1 y S2.

Edad (meses)	DAP (cm)		AB (m <sup>2</sup> /árb)		Ht (m)		Vol (m <sup>3</sup> /árb)	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
36	8,7	8,7	0,0067	0,0067	7,9	8,4	0,028	0,029
41	9,2	8,7	0,0077	0,0071	8,5	8,5	0,033	0,031
45	9,7	9,4	0,0085	0,0080	9,4	9,1	0,040	0,037
51	10,9	10,5	0,011	0,010	10,3	10,2	0,053	0,050
68	13,1 <sup>a</sup>	12,2 <sup>b</sup>	0,015	0,016	12,0	12,0	0,086	0,087

**Tabla 8.** Medias de Área Basal y Volumen en S1 y S2.

Edad (meses)	AB (m <sup>2</sup> /ha)		Vol (m <sup>3</sup> /ha)	
	S1	S2	S1	S2
36	7,1	5,7	31,7	24,9
41	7,7 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	34,1	24,4
45	8,5 <sup>a</sup>	5,9 <sup>b</sup>	40,7 <sup>a</sup>	28,6 <sup>b</sup>
51	10,4 <sup>a</sup>	7,3 <sup>b</sup>	53,5 <sup>a</sup>	37,8 <sup>b</sup>
68	14,8 <sup>a</sup>	10,6 <sup>b</sup>	83,7 <sup>a</sup>	62,7 <sup>b</sup>

promedio fue de 83,7 m<sup>3</sup>/ha y 62,7 m<sup>3</sup>/ha lo que equivale a un aumento promedio del orden del 62% y 60% (Tabla 8).

Si analizamos estos resultados en cada estrato, se hallaron diferencias para cada uno de los meses evaluados. En general dentro de cada sistema, el estrato 1 siempre presenta los valores más bajos, mientras que el estrato 3 de los más altos tanto en área basal como en volumen (tablas en Anexo 1).

A los 68 meses de edad, los valores para estrato 1 fueron de 12,4 m<sup>2</sup>/ha y 8,5 m<sup>2</sup>/ha, para Sistema S1 y S2, respectivamente. En contraposición el estrato 3 para el sistema 2 presenta valores promedios de 13,4 m<sup>2</sup>/ha y para S1 de 17,12 m<sup>2</sup>/ha. Los incrementos más notorios en área basal fueron del mes 51 al mes 68, donde aproximadamente en promedio se registra un incremento de 4 m<sup>2</sup>/ha en cada estrato y cada sistema. Si se evalúa por sistema a los 68 meses de edad,

el estrato 3 del S2 presenta un área basal con valores que superan en un 37% al estrato 1. Mientras que a la misma edad en el sistema 1, el incremento fue del orden del 28% si se compara el estrato 3 en relación al estrato 1. Para la variable Volumen a los 68 meses de edad, los valores para estrato 1 fueron de 60,9 m<sup>3</sup>/ha y 39,6 m<sup>3</sup>/ha, para S1 y S2, respectivamente. En contraposición, el estrato 3 del sistema 2 toma valores promedios de 84,8 m<sup>3</sup>/ha y en el sistema 1 de 105,9 m<sup>3</sup>/ha. Los incrementos más notorios en volumen nuevamente fueron del mes 51 al mes 68, donde aproximadamente en promedio se registra un incremento entre 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha en cada estrato y cada sistema. En el sistema 2 a los 68 meses de edad, el estrato 3 presenta un volumen con valores que superan en un 53% al estrato 1. Mientras que a la misma edad en el sistema 1, el incremento fue del orden del 42% si se compara el estrato 3 en relación al estrato 1.

**Tabla 9.** Medias de Diámetro, Área Basal (AB), Altura (Ht) y Volumen individual (Vol) en S3 y S4.

Edad (meses)	DAP (cm)		AB (m <sup>2</sup> /árb)		H (m)		Vol (m <sup>3</sup> /árb)	
	S3	S4	S3	S4	S3	S4	S3	S4
19	4,8 <sup>a</sup>	4,1 <sup>b</sup>	0,0021	0,0016	4,7 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>	0,005	0,003
25	5,2 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>	0,0025 <sup>a</sup>	0,0016 <sup>b</sup>	4,9 <sup>a</sup>	4,4 <sup>b</sup>	0,007	0,004
31	6,1 <sup>a</sup>	5,1 <sup>b</sup>	0,0036 <sup>a</sup>	0,0023 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	0,014	0,007
36	7,1 <sup>a</sup>	6,1 <sup>b</sup>	0,0049 <sup>a</sup>	0,0035 <sup>b</sup>	7,1 <sup>a</sup>	6,4 <sup>b</sup>	0,022	0,013
57	9,2	9,1	0,009	0,0085	10 <sup>a</sup>	9,1 <sup>b</sup>	0,059	0,042

El sistema 1 presenta un marco de plantación de 3,5 x 2,3 con una densidad inicial de 1.250 árb/ha y un crecimiento promedio de 16,2 m<sup>3</sup>/ha año, mientras que el sistema 2 con densidad inicial de 1.000 árb/ha presenta un crecimiento corriente de 12,5 m<sup>3</sup>/ha año.

La diferencia de producción de madera por unidad de superficie (m<sup>3</sup>/ha) entre Sistema 1 y Sistema 2 se debe al efecto de la densidad de plantación por unidad de superficie (árb/ha) y no por un crecimiento individual diferenciado en H o AB. La densidad en la última medición (68 meses) fue de 996 árb/ha en S1 y 750 árb/ha en S2.

**Sistema 3 (S3) y Sistema 4 (S4), departamento de Maldonado**

En general para todas las variables dasométricas el Sistema 3 presentan valores medios superiores al Sistema

**Tabla 10.** Medias de Área Basal y Volumen por ha, S3 y S4.

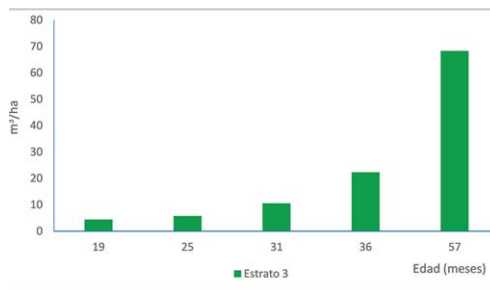
Edad (meses)	AB (m <sup>2</sup> /ha)		Vol (m <sup>3</sup> /ha)	
	S3	S4	S3	S4
19	2,8	1,8	6,3	4,1
25	3,4	2,0	8,0	4,5
31	4,9	2,9	13,5	7,8
36	6,7	4,2	22,1	12,3
57	12,7	10,7	58,7 <sup>a</sup>	40,6 <sup>b</sup>

4. La gran mayoría de las parcelas en S3 se encuentran en el estrato alto (3). Tan solo una parcela (Parcela 32, suelos Hapludalf típico, definidos en el Capítulo de suelos, en zona de recarga de agua de lluvia o flujo descendente) se encuentra en el estrato 2, por lo que el análisis por estrato para este sistema es orientativo.

Las diferencias de volumen son significativas entre S3 y S4 en el mes 57 (Tabla 10). Cuando se analiza el AB (m<sup>2</sup>/ha) existen diferencias entre estratos en el Sistema 4 en el mes 57 (Tabla 38 en Anexo 1); el estrato 1 (el área más anegable) presenta menor Área Basal con respecto a los estratos 2 y 3.

**Sistema 5 (S5) y Sistema 6 (S6), Departamento de Florida**

El Sistema 5, plantación de *E. dun nii* en el año 2012, que está diseñado con callejones de 15 m y una densidad de plantación de 555 árb/ha, resulta en un crecimiento corriente anual (ICA) de



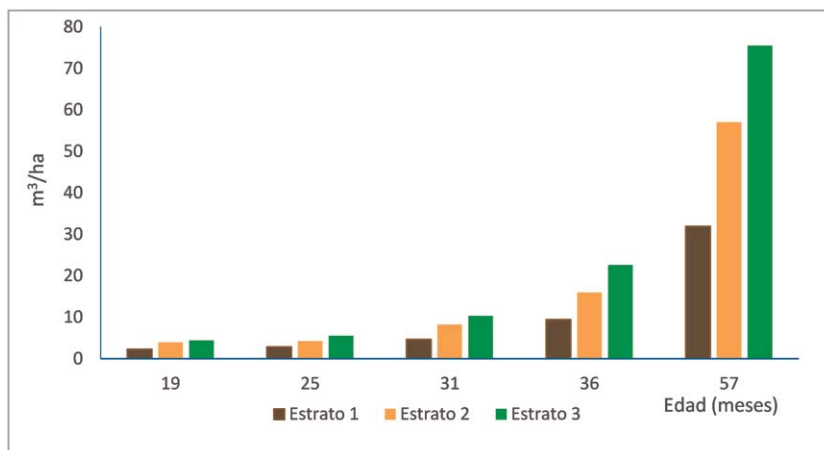
**Gráfico 4.** Volumen (m<sup>3</sup>/ha) en Sistema 3.



**Ilustración 7.** Plantación en Maldonado (S3 y S4).



**Ilustración 8.** Ganado pastando en los sistemas y ambiente de la plantación.



**Gráfico 5.** Volumen (m³/ha) para 3 estratos en Sistema 4.

**Tabla 11.** Medias de Diámetro, Área Basal (AB), Altura (Ht) y Volumen individual (Vol), S5.

Edad (Meses)	DAP (cm)	AB (m <sup>2</sup> /árb)	Ht (m)	Vol (m <sup>3</sup> /árb)
43	10,2	0,0089	7,2	0,0334
<i>sd</i>	(0,295)	(0,0052)	(1,68)	(0,023)
55	13,7	0,0160	10,1	0,0813
<i>sd</i>	(4,25)	(0,0090)	(1,68)	(0,051)

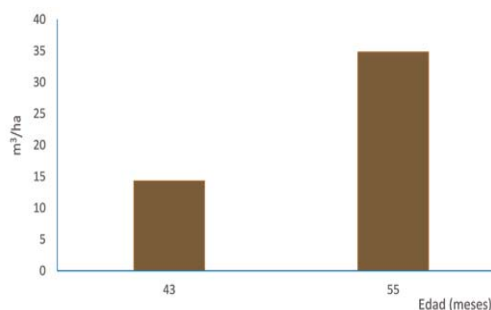
**Tabla 12.** Valores de Área Basal y Volumen, S5.

Edad (meses)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)
43	3,8	14,3
<i>sd</i>	(1,11)	(3,88)
55	6,9	34,8
<i>sd</i>	(1,81)	(7,6)

24,6 m<sup>3</sup>/ha año<sup>-1</sup> (Tabla 12), es de destacar que esta plantación se encuentra en su fase de desarrollo creciente, por lo que estos no son los valores de todo el ciclo. A los 55 meses, el Incremento

anual en DAP (Tabla 11) fue de 2,9 cm/año y el Incremento anual en altura de 2,1 m/año. Para el turno de cosecha se proyecta un IMA de 15 m<sup>3</sup>/ha/año.

El Sistema 6, plantación de *E. globulus* ssp. *maidenii*, con una densidad ini-



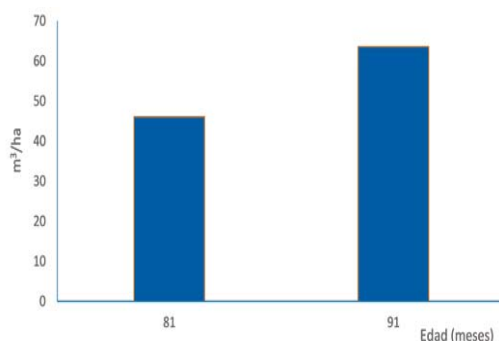
**Gráfico 6.** Volumen (m<sup>3</sup>/ha) Sistema 5.

**Tabla 13.** Medias de Diámetro, Área Basal (AB), Altura (Ht) y Volumen individual (Vol), S6.

Meses	DAP (cm)	AB (m <sup>2</sup> /árb)	Ht (m)	Vol (m <sup>3</sup> /árb)
81	14,3	0,016	10,8	0,081
<i>sd</i>	(2,86)	(0,0061)	(1,71)	(0,034)
91	15,7	0,021	12,3	0,111
<i>sd</i>	(4,04)	(0,008)	(1,09)	(0,042)

**Tabla 14.** Valores de Área Basal y Volumen, S6.

Edad (meses)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)
81	9,5	46
<i>sd</i>	(1,16)	(7,3)
91	11,9	63,5
<i>sd</i>	(1,43)	(9,29)



**Gráfico 7.** Volumen (m<sup>3</sup>/ha) Sistema 6.

cial menor (555 árb/ha) resulta en un crecimiento corriente anual (ICA) de 21 m<sup>3</sup>/ha año, y un Incremento Medio Anual (IMA) de 8,4 m<sup>3</sup>/ha/año. El Incremento anual en DAP fue de 1,7 cm/año, finalmente el Incremento anual en altura de 1,9 m/año

### Comparación del espaciamiento relativo y densidad entre los sistemas

En esta sección se realiza una comparación entre los Sistemas del Espaciamiento Relativo (ER) y la Densidad Relativa (DR), con el objetivo de relacionar estos dos índices con la ocupación y el potencial forrajero de los sistemas.

En todos los sistemas (salvo S5) la especie forestal es *E. globulus*, cuya copa arbòrea es descrita como piramidal, alta, siempre poco densa que deja pasar la luz (<https://silvicultura.wikispaces.com/Eucalyptus+globulus>).

El trabajo de Balmelli (Balmelli and Resquin, 2005) evalúa el volumen de copa y la densidad de follaje de diversas espe-

cies forestales, si se consideran las especies más plantadas en el Uruguay, *Eucalyptus globulus* es la especie de menor volumen de follaje (1,9) y Densidad de copa (1,9), mientras que es la especie que presenta mayor volumen de follaje (2,8) y densidad de copa (2,5) características que hacen que esta especie sea de muy buena aptitud para sombra y abrigo pero que deja pasar menor cantidad de luz bajo dosel, con respecto a *E. globulus*.

Se presentan los valores calculados de Índice de espaciamiento relativo (IER) que no presenta diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) a partir de los 41 meses de edad entre S1 y S2, a excepción del estrato 3 (Tabla 15). Si comparamos S1 con S2 (Gráfico 8) se observa que la mayoría de las parcelas medidas no alcanzaron la plena ocupación.

Tampoco se observan diferencias significativas entre los Sistemas S3 y S4 (Tabla 16).

En el Gráfico 8, se puede apreciar la diferencia en la ocupación del espacio entre los dos Sistemas a partir del indica-

**Tabla 15.** Índice de Espaciamiento Relativo (IER) y AMD (m) según meses de evaluación y estratos, S1 y S2.

Estrato	Meses	IER Sistema 1	AMD (m) Sistema 1	IER Sistema 2	AMD (m) Sistema 2
1	36	s/d	s/d	0,6	7,8
	41	0,38	9,2	0,6	7,8
	45	0,36	9,8	0,5	8,9
	51	0,35	10,2	0,5	9,3
	68	0,27	13,2	0,4	10,9
2	36	0,35	9,2	0,4	9,9
	41	0,32	10,4	0,3	11,6
	45	0,27	12,5	0,3	11,9
	51	0,24	13,9	0,3	13,7
	68	0,21	15,4	0,2	15,6
3	36	0,26	11,3	0,3	12,0
	41	0,24	12,3	0,3	12,7
	45	0,22	13,5	0,3	13,7
	51	0,18	14,8	0,3	14,8
	68	0,18	16,0	0,2	16,7

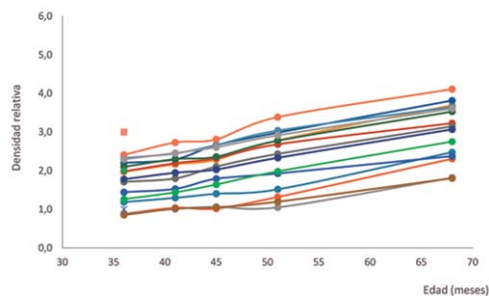
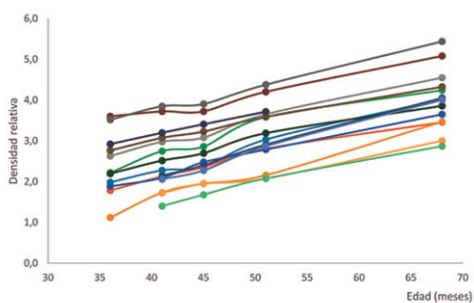
**Tabla 16.** Índice de Espaciamiento Relativo (IER) y AMD (m) según mes de evaluación y estratos, Sistemas S3 y S4.

Estrato	Meses	IER S3	AMD S3	IER S4	AMD S4
1	19	--		0,60	5,33
	25	--		0,62	5,41
	31	--		0,54	6,55
	36	--		0,48	7,47
	57	--	--	0,33	10,9
2	19	0,44	6,6	0,49	5,91
	25	0,37	7,7	0,49	6,14
	31	0,29	10,3	0,41	7,77
	36	0,28	10,6	0,36	8,82
	57	0,22	13,3	0,23	13,3
3	19	0,50	6,2	0,47	6,15
	25	0,44	6,9	0,41	6,90
	31	0,35	9,2	0,35	8,10
	36	0,32	10,0	0,31	9,25
	57	0,23	12,4	0,22	12,8

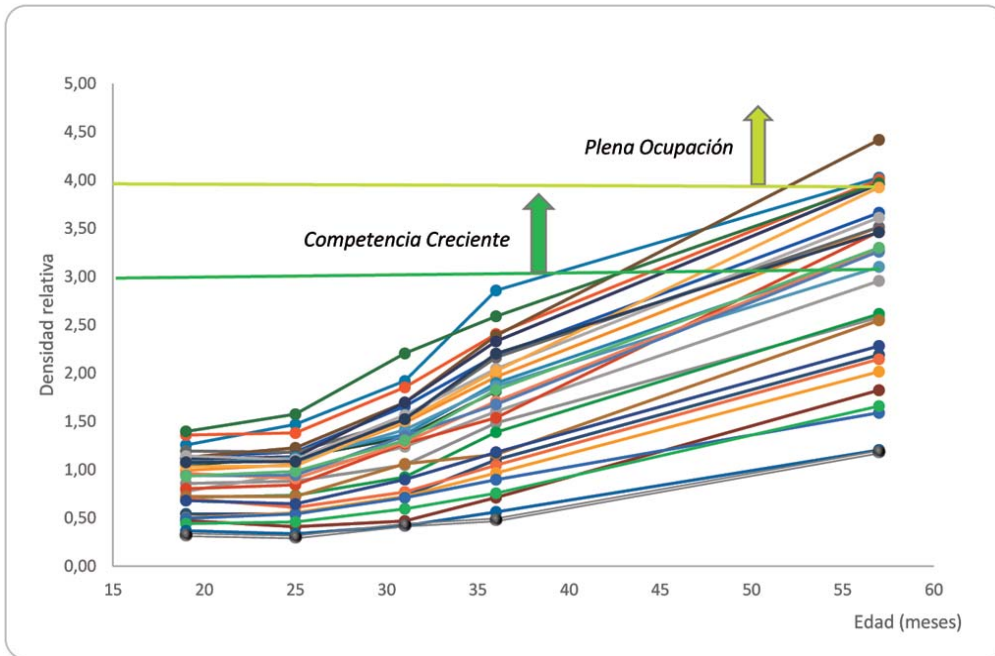
dor de Densidad Relativa. Mientras en el Sistema S1 la última medición resulta en un valor promedio de 4 con valores entre 2 y 5, en S2 estos valores se encuentran

en promedio en 3 con valores entre 1,8 y 4 a los 68 meses de edad.

En trabajos llevados adelante en Australia (Curtis, 1982b; Reid, 2009).



**Gráfico 8.** Densidad relativa S1 y densidad relativa S2.

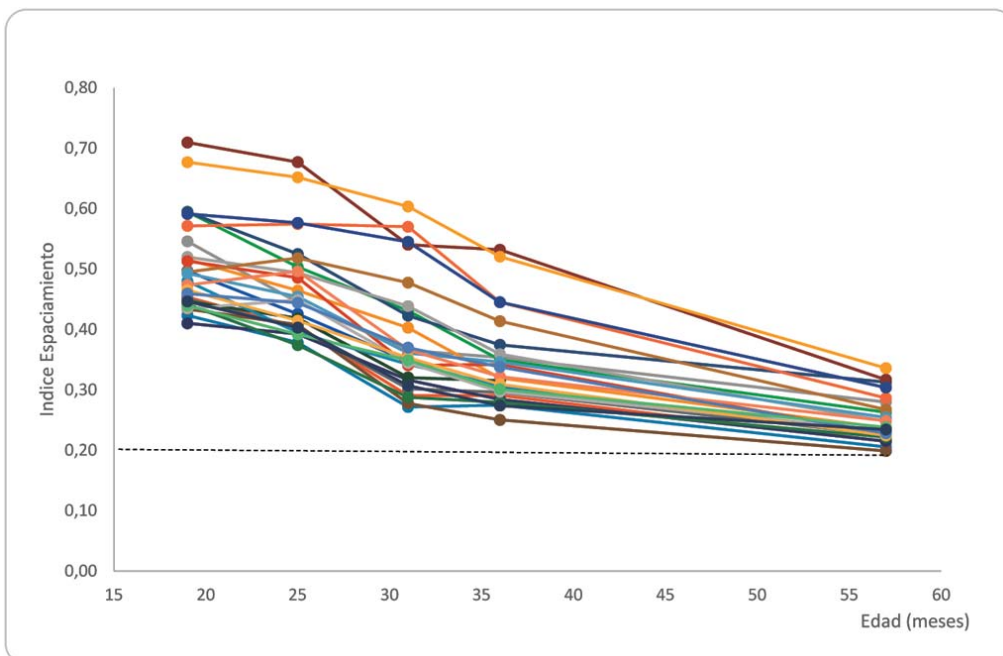


**Gráfico 9.** Evolución de la Densidad relativa a lo largo del período en Sistemas 3 y 4 entre los 19 y 56 meses de edad

en plantaciones de *Eucalyptus* sp., la **plena ocupación** del rodal se alcanza por encima de una densidad relativa de 4 (a partir de la línea amarilla en Gráfico 9); entre los valores de 3 a 6, el rodal

se encuentra en **competencia creciente**

En base a los trabajos citados, consideramos que es preferible una densidad < 3 que una densidad relativa > 4 se



**Gráfico 10.** Evolución del Índice de Espaciamiento a lo largo del período en S3 y S4.



toma como punto de quiebre en la disminución de la capacidad del espacio forrajero. En ese sentido S1 está en esta última situación, y es esperable que la capacidad de carga sea gradualmente más baja hasta el turno de cosecha.

El S2 estaría en el límite, entrando en competencia creciente y de considerar mantener la misma capacidad de carga se debería hacer algún tipo de intervención que disminuya la densidad relativa. Tanto S1 como S2 tenían 5,6 años en la última medición.

Para el caso de S3 y S4 a los 4,75 años (1 año menos que S1 y S2) , tenemos que S3, área de la plantación con mejor producción, presenta un va-

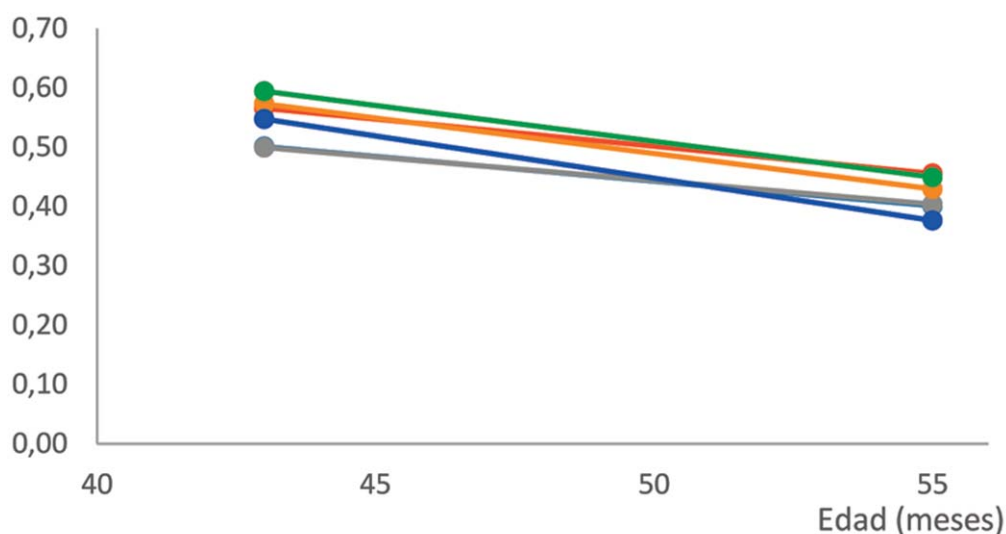
lor promedio de 3,3. En el caso de S4 con valores forestales menores el valor es de 2,6. Promediando la edad de rotación los valores de densidad entrarían a ser competitivos con la producción forrajera.

Los valores de referencia límite de espaciamiento para *Eucalyptus* sp. son de 0,20-0,21 (Reid, 2009), lo que se observa para los Sistemas S3 y S4 es que algunas zonas entrarían a partir de los 57 meses de edad.

En el Gráfico 11, lado izquierdo se puede observar IER y DR en el Sistema S5, *Eucalyptus dunnii* con densidad inicial de 555 árb/ha, plantado a (3 x 2) + 15, calculado a los 43 y 55 meses.

**Tabla 17.** Índice de Espaciamiento Relativo (IER) , AMD (m) y Densidad Relativa según meses de evaluación para Sistemas 5 y 6.

Edad (meses)	IER Sistema 5	AMD Sistema 5	Densidad Relativa	Edad (meses)	IER Sistema 6	AMD Sistema 6	Densidad Relativa
43	0,45	8,9	2,57	81	0,33	12,9	5,35
55	0,42	11,5	3,99	91	0,31	13,5	6,38



**Gráfico 11.** Evolución del Índice de Espaciamiento en *E. dunnii* en Sistema 5, plantación de densidad efectiva promedio de 428 árb/ha a los 55 meses.



**Ilustración 9.** Ocupación espacial en Sistemas 3 y 4, Departamento de Maldonado



**Ilustración 10.** Vista Aérea de Sistema 5, plantación de *Eucalyptus dunnii*, 55 meses de edad en filas dobles, Departamento de Florida.

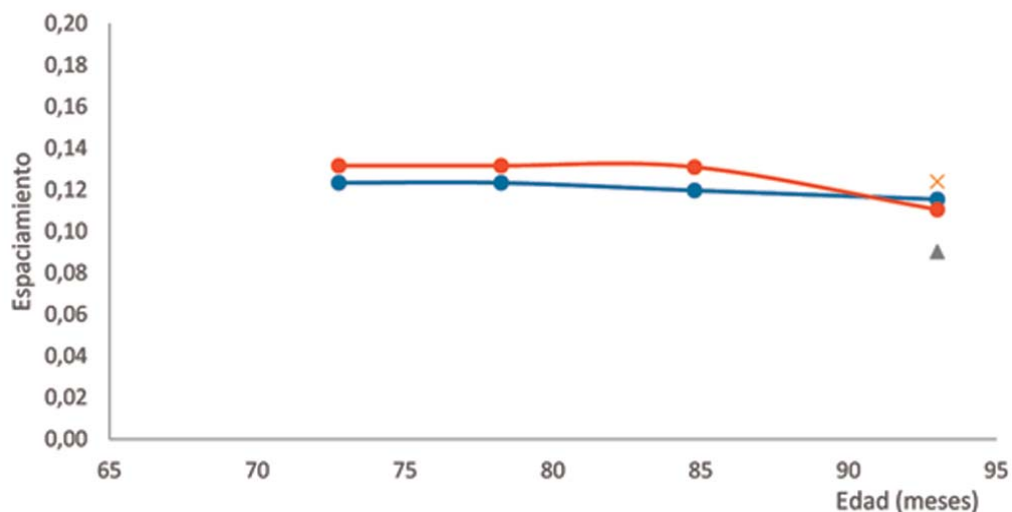


Gráfico 12. Espaciamento de *E. dunnii* en cortina densa, departamento de Flores.

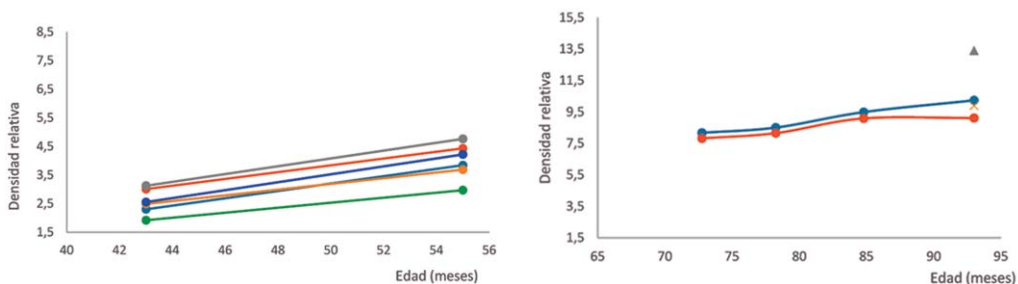


Gráfico 13. Densidad *E. dunnii*, Sistema 5 *E. dunnii* de alta densidad, Dpto. de Flores.

Estos valores comparados con otra plantación de *E. dunnii* de alta densidad: 1.189 árb/ha a los 7 años, plantado a 3 x 2,7 m, en el Departamento de Flores (Bussoni et al., 2016), presentan valores que triplican la densidad.

En la Ilustración 9 se puede observar la ocupación del espacio por parte de las copas de la plantación. Si bien la especie implantada tiende a tener un gran desarrollo de copa en el plano vertical y horizontal, se proyecta una superficie importante entre filas para el pastoreo de los animales.

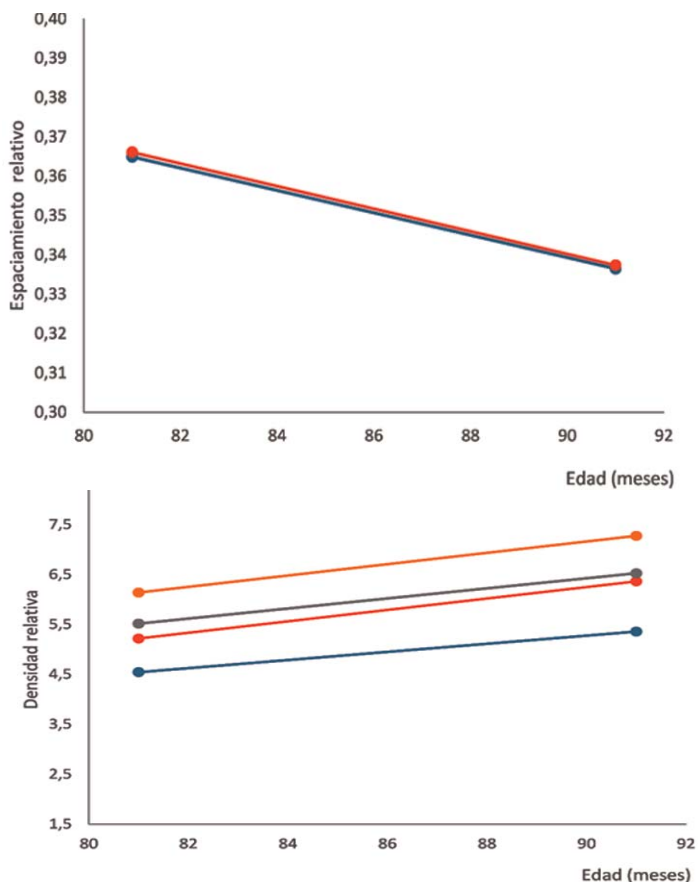
## 9. COMPONENTE FORRAJERO

### Resultado de la producción de forrajes<sup>2</sup>

La producción de forraje se presenta en kg MS/ha calculado por estación.

En el caso de Sistema 3 y 4 en algunas parcelas se observa alta presencia de Carqueja (*Baccharis cordifolia*) (Ilustración 11), y en ciertas época del

<sup>2</sup> Se agradece la colaboración y asesoramiento del Ing. Agr. (PhD) Francisco Diéguez y del Ing. Agr. (PhD) Pablo Boggiano para la confección de la sección forrajera de la Publicación.



**Gráfico 14.** *E. globulus* ssp. *maidenii* de baja densidad (Sistema 6).

año Caraguatá (*Eryngium* sp.); la especie predominante es la gramilla (*Cynodon dactylon*). Otras especies observadas muy escasamente presentes (Ilustración 12) fueron Trébol, Lotus, Macachín (*Oxa-*

*lis* sp.), Rye grass (*Lolium multiflorum*), Llantén (*Plantago* sp.), Cardo (*Cynara* sp.), *Sporobolus* sp., Pasto horqueta (*Paspalum notatum*), Pastito de Invierno (*Poa annua*) y Senecio (*Senecio* sp.).



**Ilustración 11.** Jaula en parcela 20, Padrón 22301 en Doña Sara



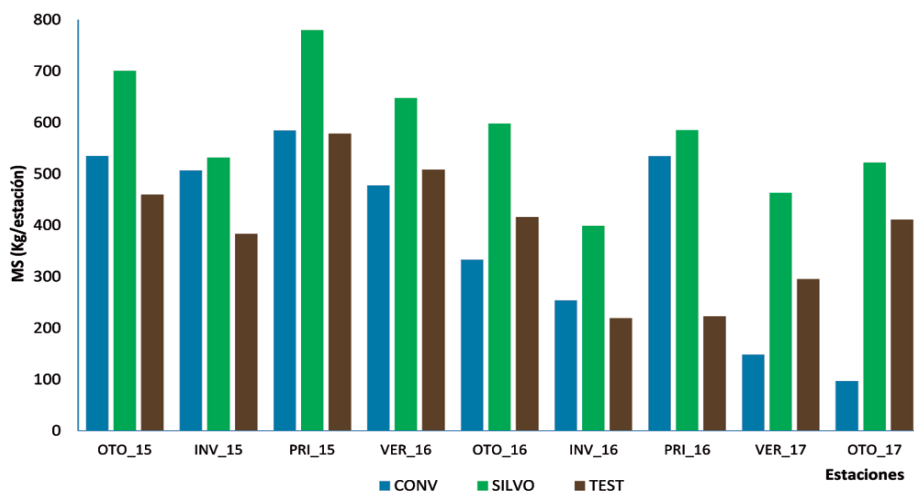
**Ilustración 12.** Algunas de las especies en las entre filas forestadas.

En los Sistemas 1 y 2 las principales especies encontradas en el tapiz herbáceo en el mes de abril fueron: *Axonopus fissifolius*, *Eragrostis cilianensis*, *Cynodon dactylon*, *Richardia humistrata*, *Baccharis coridifolia*, *Dichanthelium (Panicum) sabulorum*, *Piptochaetium montevidensis*, *Eragrostis trichocolea*, *Bromus auleticus*, *Dichondra microcalyx*, *Setaria parviflora*, *Cyperus aggregatus*, *Gamochoaeta coarctata*, *Axonopus argentinus*.

los testigos (sin influencia del cultivo) según estación anual, siendo las estaciones de primavera y otoño las de mayor producción promedio con detrimento de la producción hacia las estaciones de invierno y verano. La tendencia es que los mayores picos de producción los registra el S2, seguido del testigo y por último el S1. Para el S2 en el período evaluado, la producción estacional promedio registró valores de 399 a 780 kg de MS/ha, siendo el pico de mayor producción en la estación de primavera del año 2015 y el mínimo en la estación de invierno del año 2016. En el S1 la producción promedio fue de 84 a 578 kg de MS/ha, siendo la menor producción en otoño 2017 y la máxima producción en la primavera 2016.

### 10. PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN LOS SISTEMAS

En el Gráfico 15, se observa la producción promedio dosel de los sistemas y de



**Gráfico 15.** Producción de forraje estacional en Velázquez, Rocha en S1, S2 y Testigo.

El testigo en general presentó mayor producción promedio que el S1, con excepción de las estaciones de invierno y primavera del año 2016 donde las pasturas creciendo bajo dosel tuvieron mayor crecimiento que el testigo.

En términos generales, las pasturas bajo el dosel del S2 han tenido períodos en general superiores en producción que el testigo, no siendo así para aquellas pasturas del S1 respecto al testigo.

Según la estación en análisis, los registros históricos de precipitaciones para la zona de Velázquez y los registros de precipitación a nivel local presentan diferencias (mm/estación). En este sentido, las estaciones de otoño y verano 2016 registraron un 60 y 40 % menos de precipitaciones acumuladas en relación a las precipitaciones históricas en la zona de Velázquez. En contraposición, las estaciones de verano 2015, invierno y primavera registraron mayores registros locales en comparación al histórico, superando en un 26, 45 y 7% respectivamente los niveles históricos.

Según análisis de varianza, se pueden establecer diferencias altamente significativas en producción de materia seca por hectárea entre sistemas S1 y S2 ( $p < 0,0001$ ) y en la interacción Estación Sistema ( $p = 0,0139$ ).

En términos promedios la producción de materia seca para el período evaluado fue de 581,9 ( $\pm 19,9$ ) kg MS/ha/estación y de 339,9 ( $\pm 19,9$ ) kg MS/ha/estación para S2 y S1 respectivamente, lo que equivale a un 42% más de producción para el primer sistema respecto al otro.

Independientemente del sistema 1 y 2, las estaciones de otoño y primavera fueron de mayor crecimiento en general, lo que coincide con los picos de producción estacional para nuestro país. Si se compara con los registros pluviométricos promedio histórico para la región de Rocha por estación, el verano, invierno y primavera del año 2015 registraron lluvias superiores al promedio histórico. Para el mismo año, la única estación que registró una precipitación acumulada menor al promedio histórico fue el otoño, sin embargo fue una de las estaciones con mayor producción forrajera. Para el año 2016, el máximo de lluvias se registró en la estación de otoño (lo que superó am-

pliamente al acumulado promedio histórico), seguidos por el invierno y primavera. Esto refleja los valores obtenidos para ese año en producción forrajera, siendo las estaciones de otoño y primavera las de mayor producción. A pesar que el invierno de ese año tuvo registros pluviométricos por encima de los registros históricos no se vio reflejado en términos de producción, siendo la estación con menor producción. Así mismo, el verano 2016 tuvo registros por debajo de los promedios históricos, sin embargo, fue una estación con muy buena producción forrajera. Por último, las precipitaciones acumuladas para el verano y otoño 2017 son muy similares a las registradas en los promedios históricos, siendo similar la producción de forraje en ambas estaciones.

Según los resultados, para todas las estaciones la producción de pastos bajo dosel fue superior en S2 en relación a S1. Las diferencias de menor significancia son los cortes correspondientes a las estaciones de invierno y primavera del año 2016. Para el otoño 2015 el S2 tuvo un 33,6% más de producción bajo dosel en relación al S1, incrementándose la diferencia promedio al 61% y 83% a la otoño 2016 y 2017 respectivamente. Para la estación de invierno del año 2015, el S2 presentó diferencias promedio significativas respecto al S1, lo que se tradujo en un incremento del 30% respecto a este último. Para la estación de primavera del año 2016, no se encuentran diferencias significativas en cuanto a producción promedio de materia seca por ha entre sistemas, sin embargo la primavera del año 2015 tuvo en promedio una producción 789,6 y 517,5 kg MS/ha para S2 y S1 respectivamente. Tanto para el verano 2016 como del año 2017, se encontraron diferencias significativas en la producción promedio por estación, donde el S1 produjo un 43% y 66% menos respectivamente (Tabla 18).

Para S3 y S4 los valores de producción de forraje también están relacionados con los valores de precipitación caídos en las estaciones. Ocurrieron eventos extremos de meses con escasa o nula precipitación (Invierno 2015) para S3 y S4 en Maldonado, seguido por excesos de agua (296 mm en Agosto). El año 2015 estuvo marcado por el déficit hídrico

**Tabla 18.** Producción estacionaria de forraje Materia Seca (kg MS/ha/ estación) en S1, S2.

Año	Estación	S1		S2	
		MS	EE	MS	EE
2015	Otoño	462,4 <sup>a</sup>	± 54,4	696,6 <sup>b</sup>	± 54,4
	Invierno	382,1 <sup>a</sup>	± 54,3	545,4 <sup>d</sup>	± 54,3
	Primavera	517,5 <sup>a</sup>	± 54,3	789,6 <sup>b</sup>	± 54,3
2016	Verano	369,4 <sup>a</sup>	± 54,3	644,1 <sup>b</sup>	± 54,3
	Otoño	231,8 <sup>a</sup>	± 54,3	595,9 <sup>b</sup>	± 54,3
	Invierno	269,5 <sup>a</sup>	± 54,3	404,5 <sup>b</sup>	± 54,3
2017	Primavera	577,4	± 54,3	583,8	± 54,3
	Verano	155,9 <sup>a</sup>	± 54,3	457,1 <sup>b</sup>	± 54,3
	Otoño	87,4 <sup>a</sup>	± 54,3	519,9 <sup>b</sup>	± 54,3

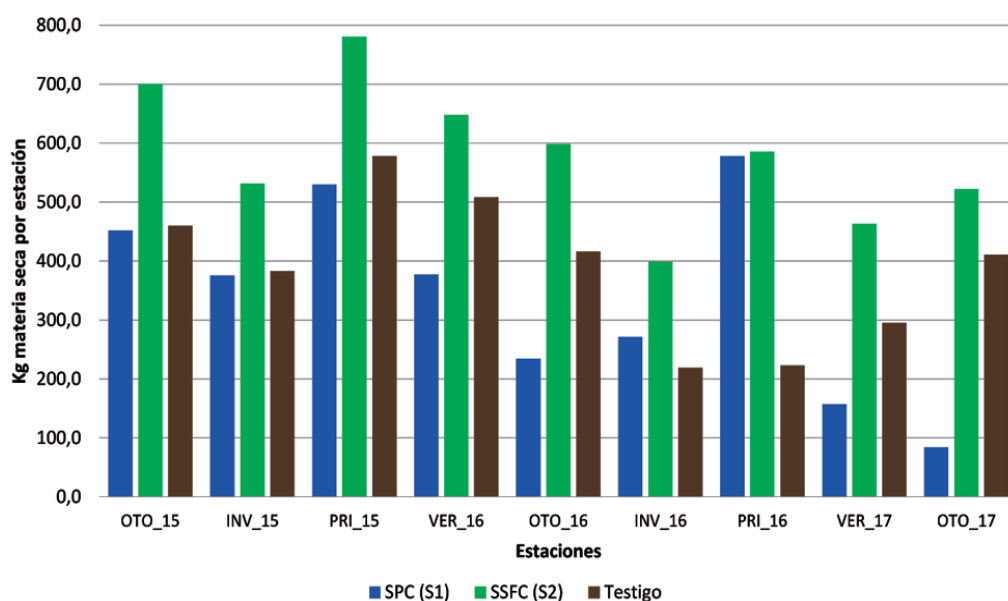
EE: error estándar.

en la zona de Maldonado (S. 3 y S. 4), las lluvias registradas durante el período fueron 655 mm, prácticamente la mitad del promedio histórico de 1200 mm. El otoño 2015 tuvo precipitaciones muy por debajo de las marcas históricas; de 373 mm promedio para la zona de Pan de Azúcar, Maldonado, la precipitación registrada en el predio fue de 15 mm para los 3 meses, lo que explica la baja producción de forraje para el invierno. Esta situación de déficit hídrico se produjo durante todo el ejercicio.

No se observan diferencias significativas de producción de forraje entre Sistemas 3 y 4 en Maldonado (procedimiento anovacontrast de Stata, F > 0.05). En

ambos Sistemas S3 y S4, la producción forrajera bajo dosel y en áreas testigo fueron máximas en la estación de primavera (Tabla 19). En contraposición, la estación de mínima producción forrajera en situación bajo dosel y testigo se registraron en la estación de invierno para ambos sistemas.

Las diferencias en cada uno de los sistemas evaluados refieren al comportamiento de producción de forraje entre áreas bajo dosel y áreas no afectadas por el cultivo (testigo). En este sentido, en el Sistema 3 para las estaciones evaluadas la producción forrajera es mayor en áreas no afectadas en relación a áreas bajo dosel, acentuándose las dife-



**Gráfico 16.** Producción de forraje estacional en S3, S4 y Testigo.

**Tabla 19.** Producción forrajera estacional en S3 y S4, Materia Seca (kg MS/ha/estación).

Año	Estación	S3		S4	
		MS	EE	MS	EE
2015	Otoño	467,0 <sup>a</sup> ± 104,9		1.192,5 <sup>b</sup> ± 111,3	
	Invierno	261,8 ± 106,3		533,8 ± 112,7	
	Primavera	293,9 ± 106,3		398,1 ± 112,8	
	Verano	359,8 ± 106,3		519,4 ± 112,7	
2016	Otoño	381,9 ± 106,3		552,1 ± 112,7	
	Invierno	609,8 ± 106,3		615,4 ± 112,7	
	Primavera	1.022,6 ± 106,3		1.128,1 ± 112,8	
2017	Verano	1.367,5 ± 106,3		1.649,4 ± 112,7	
	Otoño	784,8 ± 111,4		931,1 ± 104,9	

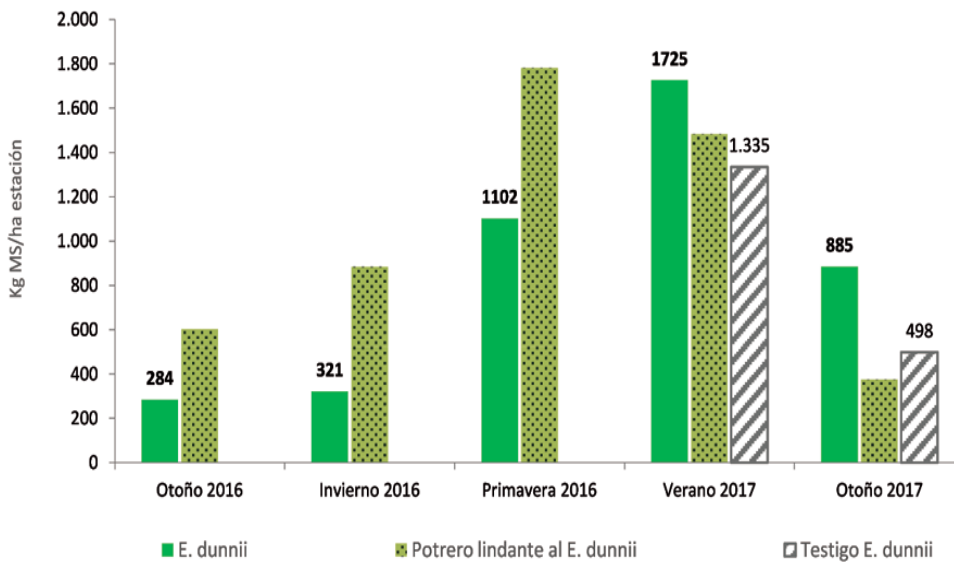
EE: error estándar.

rencias en las estaciones de primavera y verano 2016. Sin embargo, en el Sistema 4, la producción forrajera es mayor bajo dosel en relación a áreas no afectadas por el cultivo para las estaciones de verano (2015 y 2016) e invierno. Para este mismo sistema, la estación de primavera no presenta similar tendencia.

Con respecto a la MS del Sistema 5 se puede observar en el Gráfico 17 que la producción fuera del efecto del cultivo

(potrero lindante) registró una mayor producción de Materia Saca para las estaciones de Otoño-Invierno y Primavera del año 2016.

De acuerdo a la tabla 20, el sistema 5 presentó una producción de 23 % y 41 % mayor que su testigo y el potrero lindante respectivamente, para la estación de verano 2017. En el caso de Otoño del mismo año, la producción de materia



**Gráfico 17.** Producción de materia seca estacional en S5.

**Tabla 20.** Producción forrajera estacional en S5 Materia Seca (kg MS/ha/estación) y PPNA.

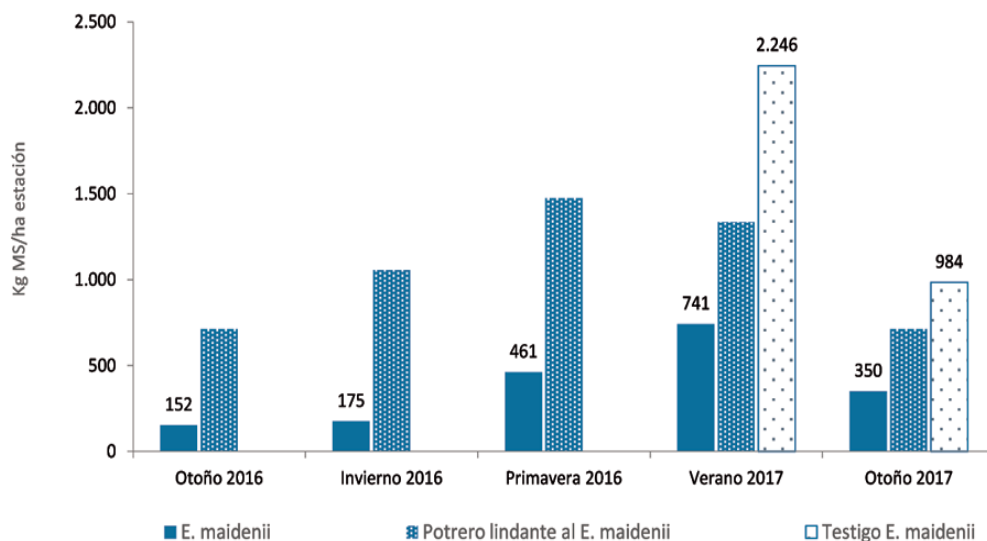
Año	Estación	S5		Testigo	Potrero lindante PPNA MS
		MS	EE		
2016	Invierno	321,1 ± 155,7		—	884
	Primavera	1.102,1 ± 397			1.781
2017	Verano	1.724,7 ± 397,6		1.335	1.018
	Otoño	885,1 ± 235,2		498	374

EE: error estándar.





**Ilustración 13.** Disponibilidad de forraje en callejón del Sistema 5 ( S5) a los 55 meses de edad en época estival.



**Gráfico 18.** Producción de forraje estacional en S6.

**Tabla 21.** Producción forrajera estacional en S6, Materia Seca (kg MS/ha/estación) y PPNA.

Año	Estación	S6		Potrero Lindante PPNA
		MS	EE	
2016	Invierno	175,2 ± 19,9	—	1.056
	Primavera	460,8 ± 136,9	—	1.473
2017	Verano	741,4 ± 642,6	2.246	1.282
	Otoño	350,2 ± 214,2	984	712

EE: error estándar.

seca también supero al potrero lindante en un 58 % y en un 44 % al testigo.

Con respecto a la MS del Sistema 6 se puede observar en la grafica 18 que la producción fuera del efecto del cultivo (potrero lindante) registró una mayor producción de Materia Seca para todas las estaciones evaluadas.

De acuerdo a la tabla 21, el sistema 6 presentó siempre una producción inferior al potrero lindante y a su testigo. Para la estación de invierno y primavera 2016, la producción fue 84 % y 69 % menor al potrero lindante. En el caso de Verano y Otoño del año 2017, la producción de materia también fue inferior al potrero lindante en un 42 % y en un 51 % respectivamente. Con respecto al testigo se presentó valores inferiores en producción de materia seca para el verano y otoño del 2017

con un 67 % y 64 % menos de producción respectivamente.

En la Tabla 22 se presentan los valores medios de proteína cruda (PC) y fibra detergente acida (FDA) para el período considerado, en los Sistemas 1 y 2.

Para el caso de la proteína y fibra detergente ácido no se pudo evidenciar diferencias entre los S1 y S2 (Tabla 22).

Se encontraron diferencias de contenido de proteína cruda en los sistemas S3 y S4 para las estaciones de invierno 2015 y otoño e invierno 2016 (Tabla 23). Mientras que para fibra detergente ácida se evidenciaron diferencias para otoño y primavera 2015 únicamente.

En general los valores de PC y FDA para los sistemas son ligeramente mayores que los valores registrados para

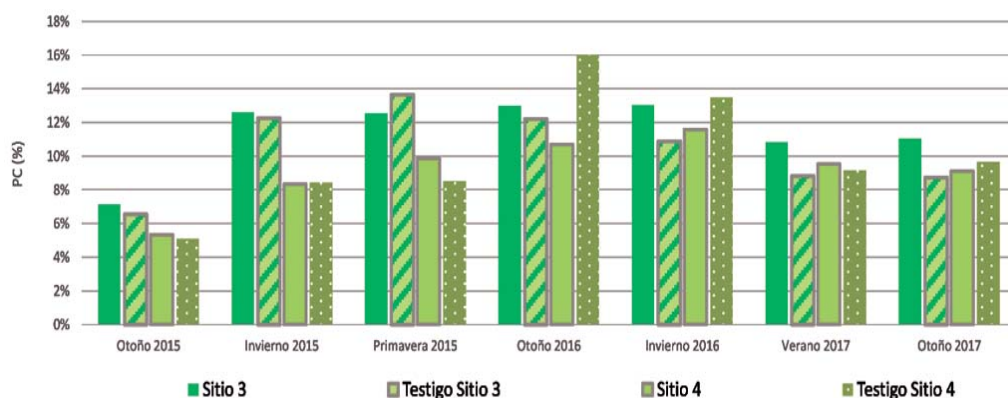
**Tabla 22.** Medias Proteína cruda (PC%) y Fibra Detergente Ácida (FDA%) en Sistemas S1 y S2.

Año	Sistema 1	PC (%)	FDA (%)	Sistema 2	PC (%)	FDA(%)
2015	Verano 1	10.06	35.78	Verano 1	9.7	35.88
	EE	(0.42)	(0.83)	EE	(0.42)	(0.83)
	Otoño 1	9.2	35.42	Otoño 1	10.09	35.34
	EE	(0.11)	(0.3)	EE	(0.11)	(0.3)
	Invierno 1	11.22	34.51	Invierno 1	10.04	34.32
	EE	(0.27)	(1.29)	EE	(0.27)	(1.29)
2016	Primavera 1	11.15	31.29	Primavera 1	11.74	31.93
	EE	(0.23)	(0.82)	EE	(0.23)	(0.82)
	Verano 2	7.73	36.75	Verano 2	9.29	40.49
	EE	(0.27)	(2.82)	EE	(0.27)	(2.82)
	Otoño 2	13.32	28.87	Otoño 2	12.07	28.62
	EE	(0.57)	(3.23)	EE	(0.57)	(3.23)
2017	Invierno 2	14.3	33.41	Invierno 2	14.5	32.64
	EE	(0.56)	(0.88)	EE	(0.56)	(0.88)
	Primavera 2	14.1	33.74	Primavera 2	11.34	34.65
	EE	(1.13)	(0.97)	EE	(1.13)	(0.97)
2017	Verano 3	11.27	40.87	Verano 3	10.79	34.09
	EE	(0.52)	(1.7)	EE	(0.52)	(1.7)
	Otoño 3	11.27	39.68	Otoño 3	10.79	41.24
	EE	(0.52)	(1.09)	EE	(0.52)	(1.11)

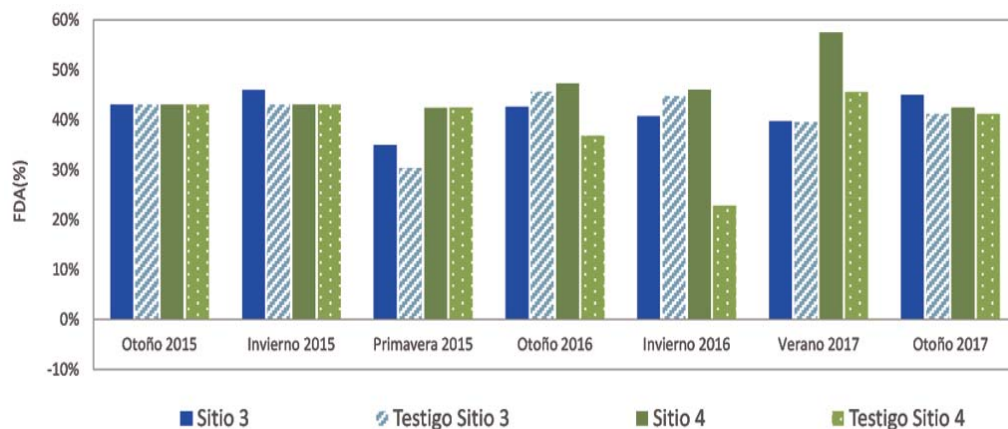
EE: error estándar.

**Tabla 23.** Medias de Proteína cruda (PC%) y Fibra Detergente Ácida (FDA%) en Sistemas S3 y S4.

Año	Sistema 3	PC (%)	FDA (%)	Sistema 4	PC (%)	FDA (%)	
2015	Otoño 1	7,1%	39,5% <sup>a</sup>	Otoño 1	5,1%	34,8% <sup>b</sup>	
	EE	(0,81)	(0,96)	EE	(0,81)	(0,95)	
	Invierno 1	12,6% <sup>a</sup>	35,6%	Invierno 1	8,3% <sup>b</sup>	33,0%	
	EE	(0,38)	(1,48)	EE	(0,38)	(1,48)	
	Primavera 1	12,5%	32,8% <sup>a</sup>	Primavera 1	10,2%	28,7% <sup>b</sup>	
	EE	(0,83)	(0,98)	EE	(0,83)	(0,98)	
2016	Otoño 2	12,9% <sup>a</sup>	37,8	Otoño 2	10,7% <sup>b</sup>	35,9%	
	EE	(0,42)	(0,98)	EE	(0,42)	(0,98)	
	Invierno 2	12,9% <sup>a</sup>	35,8%	Invierno 2	10,7% <sup>b</sup>	33,5%	
	EE	(0,42)	(1,81)	EE	(0,42)	(1,81)	
	2017	Verano 3	11%	36%	Verano 3	10%	35,7
		EE	(0,48)	(0,22)	EE	(0,48)	(0,22)
Otoño 3		11%	26%	Otoño 3	9%	34%	
EE		(0,48)		EE	(0,48)		



**Gráfico 19.** Proteína Cruda (%), Sistemas 3 y 4.



**Gráfico 20.** Fibra Detergente (%), Sistemas 3 y 4.

sus testigos. Existen muchas causas que pueden explicar esta mejora en la calidad, una de ellas es que las pasturas bajo sombra tienden a ser fisiológicamente más jóvenes prolongando la fase vegetativa (Sousa et al., 2010), o debido a que en estas condiciones se incrementa el nitrógeno soluble total, debido inicialmente a la acumulación de nitratos en las hojas el período vegetativo (Pentón & Blanco, 1997). En algunas estaciones los niveles de FDA son ligeramente mayores en los testigos que en los sistemas, lo cual incide en la capacidad de ingestión y digestibilidad de las especies forrajeras (Serrano et al., 2014).

Ambos sistemas no son directamente comparables ya que son dos especies con diferente espaciamiento pero dan indicios en la producción de MS que se puede esperar en este tipo de sistemas. El Sistema 5, *E. dunnii* en filas dobles separado en callejones de 14 m, muestra una densidad mayor y una oferta de MS

en los callejones equivalente a la lograda en CN sin árboles.

En la Tabla 25 se observa que el Sistema 2 resulta en una potencial de mayor carga ganadera, a excepción de la Primavera 2.

En la Tabla 26 se muestran los valores de las áreas testigo, fuera del dosel. Las celdas en amarillo en el Sistema 5 y 6 son valores derivados de LART de potreros con Campo Natural contiguos a los forestados.

En términos generales para todos los Sistemas y como era esperable, se obtiene mayor producción de forraje fuera del dosel, lo que deriva en mayor carga ganadera. Sin embargo se observa que existen momentos en que la relación es inversa. Por ejemplo mientras el Sistema 3 resulta en una potencial mayor carga durante todo el período, el Sistema 4 muestra valores mayores bajo dosel para el otoño 1 y 2 e invierno 1 y 2.

**Tabla 24.** Media de Proteína cruda (PC%) y Fibra Detergente Ácida (FDA%) en Sistemas S5 y S6.

Año	Sistema 5	PC (%)	FDA (%)	Sistema 6	PC (%)	FDA (%)
2016	Otoño	14.8%	31%	Otoño	16.8%	34%
	Invierno	16%	28%	Invierno	17.2%	28%
	Primavera	13.1%	34%	Primavera	14.0%	37%
2017	Verano	7.3%	41%	Verano	8.0%	40%
	Otoño	10.5%	34%	otoño	9.8%	40%

**Tabla 25.** Carga ganadera que puede albergar el sistema en función de la materia seca producida.

Año	Estación	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6
2015	Otoño 1	0.35	0.54	0.37	0.77		
	Invierno 1	0.29	0.41	0.10	0.12		
	Primavera 1	0.41	0.60	0.26	0.42		
2016	Verano 2	0.29	0.50				
	Otoño 2	0.18	0.46	0.26	0.38	0.20	0.11
	Invierno 2	0.21	0.31	0.39	0.49	0.27	0.15
2017	Primavera 2	0.45	0.45			1.10	0.51
	Verano 3	0.12	0.36	1.10	1.47	1.41	0.51
	Otoño 3	0.06	0.40	0.54	0.30	0.38	0.14

**Tabla 26.** Carga ganadera en las zonas libres de forestación.

Año	Estación	Testigo Sistema 1 y 2	Testigo Sistema 3	Testigo Sistema 4	Testigo Sistema 5	Testigo Sistema 6
2015	Otoño 1	0.35	0.74	0.42	--	--
	Invierno 1	0.30	0.18	0.03	--	--
	Primavera 1	0.45	0.50	0.47	--	--
2016	Verano 2	0.39	--	-	--	--
	Otoño 2	0.32	0.58	0.25	0.48	0.54
	Invierno 2	0.17	0.49	0.24	0.67	0.55
	Primavera 2	0.17	--	--	1.0	1.2
2017	Verano 3	0.23	2.09	0.66	0.96	1.62
	Otoño 3	0.32	0.79	1.39	0.36	0.42



**Ilustración 14.** Ambiente bajo dosel Sistema 3

No se pudo establecer una relación unívoca de producción de forraje, si bien en general existe una mayor producción de forraje fuera del dosel.

## 11. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DE LOS SISTEMAS

En la Tabla 27 se presentan los valores utilizados para estimar la producción de madera comercial, lo que se calculó a

partir del SAG\_INIA (INIA, 2016). El programa SAG proyecta la producción forestal, estando diseñado para densidades iniciales altas, para nuestros casos los sistemas con densidades bajas no se puede establecer la edad de rotación técnica, ya que no se cumple con el requisito de densidad inicial. Por lo tanto se proyecta un turno de cosecha a los 10 años para S2, S5 y S6. Los Sistemas S3 y S1 son los que presentan mayor producción de madera con un turno de cosecha a los 12,5 años y 11 años.

**Tabla 27.** Proyección de madera en los diferentes Sistemas estudiados.

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6
Edad inicial (años)	5,7	5,7	4,7	4,7	4,6	7,6
Densidad de plantación(árb/ha)	1.250	1.000	1.100	1.100	556	556
Densidad inicial <sup>3</sup> (árb/ha)	996	750	1000	935	428	570
DAP medio inicial (cm)	13,1	13	10	8,50	13,7	15
Área basal inicial (m <sup>2</sup> /ha)	15,1	11,3	11,6	8,4	6,8	12,1
DAP máximo inicial (cm)	26	25	24	21	24	21
AMD edad inicial (m)	15	15	13,3	11,8	11,5	13,5
Edad Optimo técnico (años)	11	10	12,5	13	10	10
Producción madera cosecha (m <sup>3</sup> /ha)	212	174	214	196	150	150
IMA a edad de cosecha (m <sup>3</sup> /ha/año)	19,3	17,4	17	15	15	15

<sup>1</sup> Densidad (árbs/ha) al momento de proyección del crecimiento. En todo el cuadro la palabra inicial refiere al momento a partir del cual se proyecta la simulación.

Proyectar valores de crecimiento y precios de comercialización a futuro es siempre incierto, por lo que se debe tomar el resultado económico financiero como una orientación del resultado probable de la venta de madera, más que como un número concreto. A tales efectos se realizan los siguientes supuestos: a) el precio más probable de la madera, en una tendencia de mediano plazo es de 60US\$/m<sup>3</sup> en puerta de fábrica; la madera de *Eucalyptus globulus* es más apreciada en la industria de producción de pulpa, por lo que puede lograr un precio diferencial debido al mayor rendimiento industrial y calidad de pulpa obtenido, b) en

todos los sistemas se considera que no ingresa ganado hasta un año posterior a la cosecha y c) todos los bosques son considerados de rendimiento por lo que tributan IRAE a la cosecha, contribución inmobiliaria y BPS, anualmente.

Se simularon proyecciones de cargas ganaderas para los diferentes sistemas en base a los resultados preliminares presentados en Tabla 25. Si bien estos datos están influenciados por el efecto año, nos ayudan a presentar una posible evolución de la carga ganadera para años promedios. La carga estimada se presenta en la Tabla 28.

**Tabla 28.** Carga ganadera proyectada en los Sistemas.

Sistema \ Año	2-3	4-5	6-7	7-10	>10
1	0.40	0.30	0.30	0.20	0.20
2	0.65	0.65	0.60	0.50	0.50
3	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30
4	0.50	0.40	0.40	0.40	0.30
5	0.78	0.78	0.60	0.60	0.50
6	0.60	0.50	0.40	0.40	0.30

El sistema 1 es el más denso con una densidad inicial de 1.250 árb/ha, por lo tanto la carga ganadera es siempre menor al resto de los sistemas.

Los sistemas que albergan mayor carga proyectada son el Sistema S5 (*E. dunnii* en filas dobles en callejones de 15 m) y el sistema S2 (*E. globulus* en filas dobles en callejones de 8 m). El sistema 5 puede tener una carga similar al promedio de largo plazo y sustentable en campo natural de 0,75-0,78 UG/ha, hasta el año 5.

Se simulan módulos de 50 ha en donde se foresta el 75% del potrero, y el ganado puede ingresar a partir del segundo año, hasta el año de cosecha.

En Tabla 29 se presentan los resultados financieros solo considerando la actividad forestal, asumiendo igual precio de la madera en pie, si bien tanto S1

como S2 se encuentran a mayor distancia de destino (puerto o fábrica).

Se aplicó en todos los casos el test de Bernhard-de Faro (Bernhard, 1979) para comprobar la existencia de TIR única, ya que los flujos financieros cuando se considera el rebrote de la cepa presentan más de un cambio de signo.

Las variables que tienen más incidencia en la rentabilidad de los sistemas son el volumen por hectárea y el costo del flete, relacionado con la distancia, como es el caso del Sistema S1 y S2. Lograr un cierto volumen por superficie permite bajar los costos de cosecha en madera para pulpa. Un volumen de cosecha por debajo de los 150 m<sup>3</sup>/ha no sería conveniente para este destino.

En todos los casos se considera que el ganado debe ser retirado del potrero el año de la cosecha y el posterior. Como se observa en Tabla 30, en todos los

**Tabla 29.** Resultados financieros forestales de los 6 sistemas.

	TIR (%)	VAN (US\$/ha)	RFA (US\$/ha/año)	Turno corte (años)
Sistema 1	12,4%	2.140	231	11
Sistema 2	9,5%	1.569	184	10
Sistema 3	10,2%	1.794	180	12,5
Sistema 4	9,9%	1.661	156	13
Sistema 5	14,7%	1.414	166	10
Sistema 6	15,7%	1.799	209	10

**Tabla 30.** Resultados financieros forestales y ganaderos.

Forestación con ganado integrado	TIR	VAN (US\$/ha)	RFG_A (US\$/ha/año)	Índice Económico (LEER)
Sistema 1	13,8%	2.283	247	1.44
Sistema 2	14,9%	1.857	218	1.52
Sistema 3	11,2%	1.977	199	1.52
Sistema 4	11,1%	1.921	181	1.40
Sistema 5	17,8%	1.746	205	1.28
Sistema 6	17,5%	2.007	235	1.24

casos la incorporación de la ganadería mejora la rentabilidad de los sistemas. El sistema S5 en callejones de 15 m, alcanza un volumen de 150 m<sup>3</sup>/ha y mantiene una mayor carga ganadera por más tiempo.

Todos los sistemas mejoran los indicadores financieros cuando se considera el ganado bajo dosel y áreas libres del potrero (Tabla 30).

En esta tabla se puede apreciar en la última columna, el Índice económico (LEER) que evalúa el incremento de valor comparando el monto obtenido al integrar ambas producciones con respecto a lo que se obtendría realizando la producción ganadera y forestal en forma separada. Las comparaciones fueron realizadas de a pares en cada establecimiento, tomando como valor del denominador (ver Ecuación 5) el sistema de mayor retorno. De estos valores se puede deducir que aquellos sistemas que incorporan en mayor medida la ganadería: S2, S5 y S6 incrementan el valor económico en un 35% al realizar las actividades ganadería y forestación de manera integrada. Los sistemas en donde la proporción de forestación es mayor: S1, S3, y S4 incrementan en un 45% el valor económico producido.

Se debe considerar que una renta forestal anual de 140 US\$/ha, sobre un área efectiva del 75%, a cosechar a los 11 años es el equivalente a pagar 96 US\$/ha sobre área afectada en los años

que dura el ciclo (12 años), asumiendo el costo del alambrado. Por lo tanto las comparaciones se deben realizar sobre la misma base para ser correctamente evaluadas por el tomador de decisión.

En la Tabla 31 se presentan los resultados de los indicadores financieros incorporando un rebrote; los valores tienden a ser superiores, con un aumento en promedio de 1% para los S1, S3 y S4 y 3% para S2, S5 y S6.

Al comparar estos valores con valores de rentas ofrecidas para forestar, se debe tener en cuenta ciertas consideraciones. Por un lado los resultados presentados en las Tablas 30 y 31 tratan de reflejar la situación productiva considerando aspectos ganaderos y forestales. En el trabajo se incluye todo el ciclo de la plantación, como por ejemplo el transcurso de dos años entre el inicio de labores para plantación y el ingreso de ganado, y el año posterior a la cosecha que se considera sin actividad productiva en el potrero. El segundo aspecto importante es que la renta calculada es sobre el área afectada de forestación y no sobre el área efectiva. La renta sobre el área efectiva es siempre superior, pero no refleja cabalmente la superficie destinada a la actividad conjunta, por lo que es siempre es más ajustado hacer los cálculos financieros sobre el área afectada considerando todo el tiempo el potrero

**Tabla 31.** Resultados financieros forestales y ganaderos incorporando el valor del rebrote.

	TIR	VAN US\$/ha	RFG_A (US\$/ha/año)
Sistema 1	14,9%	3.190	194
Sistema 2	16,4%	3.050	191
Sistema 3	13,7%	3.192	183
Sistema 4	12,0%	2.728	149
Sistema 5	20,4%	3.481	226
Sistema 6	18,4%	2.743	178



afectado. El último punto a tener en cuenta en estos sistemas es el disponer de una mayor área para pastoreo sustentable a lo largo del tiempo y las sucesivas rotaciones.

## 12. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

### Aspectos productivos

- La actividad SSP que involucra la producción animal, forestal y forrajera en un marco adecuado permite obtener los mejores rendimientos de cada uno de los componentes, o interacciones positivas.
- La producción de materia seca en el sistema de (2 x 2) +8 fue en promedio de 581,9 ( $\pm 19,9$ ) kg MS/ha/estación, lo que representa un 42 % por encima de la producción de forraje en el Sistema 1, plantado a 3,5 x 2,3 (339,9 ( $\pm 19,9$ ) kg MS/ha/estación).
- Comparando S1 con S2 (filas dobles y callejones), el sistema S2 produjo significativamente más forraje que S1, con valores entre 400-780 kg MS/estación. En la época estival, sin restricciones climáticas, S5 produjo más forraje en el callejón con respecto a los testigos y las mediciones satelitales en potreros contiguos de Campo natural.
- Existe siempre naturalmente sitios que mejor se adaptan a la producción de forraje o de madera; por ejemplo, para el caso de S3 y S4 con igual marco de plantación S4 presentó mejor producción de forraje y menor producción de madera, por lo que la elección del sitio es primordial en estos sistemas.
- Los sistemas sirven a los propósitos ganaderos en la medida que se adopten distancias de plantación en callejones que permitan el pastoreo durante mayor tiempo de la plantación.
- Los sistemas de callejones ocupan el espacio de manera más eficiente para la circulación del ganado y permiten una mayor permanencia en el tiempo.
- En general otros estudios reportan menor producción de madera indivi-

dual comparando filas simples con respecto a filas dobles (Oliveira et al., 2009). En nuestro trabajo, estas diferencias no se constataron en DAP, Ht y volumen individual comparando S1 con S2. Para este caso, las variables que definen el mayor volumen son la densidad y la sobrevivencia.

- En densidades entre 550-1000 pl/ha se puede lograr una mayor integración de ambas actividades, en especial en los arreglos espaciales de callejones, permite una mayor producción de forraje en el callejón y mayor aprovechamiento.
- El estudio de estos sistemas debería considerar obtener una canasta de productos forestales en donde se priorice menor volumen, obtener ingresos intermedios proveniente de raleos comerciales y productos de alto valor en turno final de cosecha.

### Aspectos económico financieros

- Inclusive en Sistemas de menor densidad de árboles (S5 y S6) se logra un mayor beneficio económico-financiero con respecto a los sistemas puros (S1, S3 y S4). La rentabilidad estimada
- Tomando un valor de referencia de ganado de reposición de 2 US\$/kg, para implantar 1 ha de forestación se precisan 300-460 kg de reposición.
- Otro análisis que se puede realizar es la cantidad de reposición que logra comprar 1 tonelada de madera, en los casos estudiados este valor oscila, según la especie, entre 10-11 kg/ton; por otro lado 1 ha forestada requiere 75-107 kg de reposición/ha. Estos valores varían con los precios relativos, por ejemplo Lacorte et al. (2016) reporta 13-23 kg/ton de madera y 80-174 kg/ha.
- Los sistemas con mayor proporción de ganadería: S2, S5 y S6 incrementan el valor económico en promedio en 35% al integrar ambas actividades.
- En los sistemas en donde la proporción de forestación es mayor: S1, S3, y S4 el incremento promedio es del 45%, pero con menor superficie de

pastoreo. Por lo tanto si el objetivo es tener madera con ganado integrado en el potrero, los mejores sistemas en orden de preferencia serían S5, S6 y S2.

- Los SSP pueden ser una importante fuente de diversificación de ingresos y disminución de riesgos actuando como actividad complementaria y de resguardo, pudiendo atenuar los años de bajos ingresos o como fuente de financiación para inversiones en el predio.
- Cuanto más alta es la eficiencia económica ganadera, más se beneficia la actividad de la forestación

### 13. CONSIDERACIONES FINALES

A futuro se debería tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los resultados de producción individual y poblacional en los diferentes arreglos espaciales de árboles deben ser analizados en el contexto de la permanencia del ganado en la plantación y el segundo objetivo productivo que es producir madera, por lo que si bien es importante cuantificar la producción de madera en estos sistemas hay que ubicar esos resultados en el contexto de una producción integrada.
- El productor ganadero con requerimientos de área de pastoreo y sombra para el ganado debería tener a disposición combinaciones que optimicen el resultado económico productivo en su conjunto, lo que adquiere relevancia en establecimientos de mediana superficie donde el área de pastoreo presenta bajo margen de modificación.
- En el análisis económico, el único destino considerado es la producción de pulpa. Este producto tendrá una demanda sostenida de madera en Uruguay y puede llegar a ser una muy buena opción económica. Sin embargo sistemas silvopastoriles tienen la característica de tener menor número de árboles por superficie, presentando la posibilidad de obtener madera

para manufactura, en donde sería esperable un mayor retorno económico. Futuras líneas de investigación deberían incluir un análisis de este tipo de mercados para productores no integrados.

- Los aspectos de la especie forestal y la disposición espacial en estos sistemas, deberían ser analizados en futuros trabajos, por ejemplo el *Eucalyptus globulus* a pesar que presenta problemas sanitarios y de susceptibilidad de heladas, presenta alta aptitud para ser plantado en densidades relativamente altas, en filas apareadas como ocurre en el S2. Para el caso del *Eucalyptus dunnii* con un mayor volumen y densidad de copa, pero mejor comportamiento ante problemas climáticos y enfermedades, debería plantarse en menores densidades, en filas apareadas pero con callejones mas amplios, como ocurre en el S5.
- Los sistemas de producción como S2 nos permiten tener ventajas tanto en cantidad como en calidad de pasturas, traduciéndose en beneficios para el componente ganadero en relación a S1. No se observaron variaciones en el crecimiento individual de los árboles entre ambos, siendo la producción de madera por unidad de superficie mayor en S1 por el efecto densidad.
- Por último se debería tener a disposición de los productores ganaderos, 2-3 modelos de producción por grandes zonas del país: Norte, Litoral y Centro-Sur que permitan obtener uno o mas productos forestales a lo largo de la rotación y mejoren la liquidez de estos modelos.

### 14. ALGUNAS OBSERVACIONES

- Los mejores resultados para el productor ganadero, son los marcos de plantación con filas de 2 apareadas. En estos casos se puede proyectar una mayor disponibilidad forrajera durante mayor cantidad de años.
- Si se estima realizar algún tipo de mejoramiento forrajero la distancia entre filas debe tener en cuenta el

ancho de la maquinaria con alguna holgura.

- Lo más recomendable es hacer tratamiento de herbicida y laboreo en la línea y dejar imperturbado los callejones para preservar el campo natural.
- Se estima preferible realizar el mejoramiento antes de la plantación.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- AnkomTechnology, 2015. Acid Detergent Fiber in Feeds. NY.
- AOAC International, 1990. Official Methods of Analysis, 15,167.03. ed. Arlington, VA.
- Balmelli, G., Resquin, F., 2005. Comportamiento de especies de Eucalyptus para sombra y abrigo en suelos sobre basalto. Rev. INIA Uruguay 25-27.
- Becking, J.H., 1953. Einige Gesichtspunkte für die Durchführung von vergleichenden Durchforstungsversuchen in gleichaltrigen Beständen, in: 11th IUFRO Congress. Rome, pp. 580-582.
- Bernhard, R.H., 1979. A More General Sufficient Condition for a Unique Nonnegative Internal Rate of Return. J. Financ. Quant. Anal. 14, 337-341.
- Bussoni, A., Munka, C., Rachetti, M., Boscana, M., Alvarez, J., Fernandez, E., Cabrera, G., 2016. La integración de forestaciones en predios familiares: resultados de un estudio participativo. Impresos DIB, Montevideo, 48 pág.url: [http://www.cnfr.org.uy/uploads/files/Integracin\\_de\\_forestaciones\\_en\\_predios\\_familiares\\_Resultados\\_de\\_un\\_estudio\\_participativo.pdf](http://www.cnfr.org.uy/uploads/files/Integracin_de_forestaciones_en_predios_familiares_Resultados_de_un_estudio_participativo.pdf)
- Callero, J., 2008. El Sistema Silvopastoril de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias en sus Centros Forestales 1 y 2. INIA TACUAREMBO.
- Castaño, J.P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Serie Técnica N° 193.
- Clutter, J., Fortson, J., Pienaar, L., Brister, G., Bailey, R., 1992. Timber Management: A quantitative approach, First. ed. Krieger Publishing Company, Malabar, Fl.
- Cubbage, F., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemeier, E., Pachas, A.N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Frey, G., Dube, F., de Silva, M.L., Stevenson, H., Hamilton, J., Hubbard, W., 2012. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. Agrofor. Syst. 86, 303-314. doi:10.1007/s10457-012-9482-z
- Cubbage, F., Donagh, P. Mac, Balmelli, G., Olmos, V.M., Bussoni, A., Rubilar, R., Torre, R.D. La, Lord, R., Huang, J., Hoeflich, V.A., Murara, M., Kanieski, B., Hall, P., Yao, R., Adams, P., Kotze, H., Monges, E., P??rez, C.H., Wikle, J., Abt, R., Gonzalez, R., Carrero, O., 2014. Global timber investments and trends, 2005-2011. New Zeal. J. For. Sci. 44, S7. doi:10.1186/1179-5395-44-S1-S7
- Curtis, R.O., 1982a. A simple index of stand density for Douglas-fir. For. Sci. 28, 92-94.
- Curtis, R.O., 1982b. A simple index of stand density for Douglas-fir. For. Sci. 28, 92-94.
- Gallo Caceres, L., 1998. Crecimiento de Panicum maximum bajo Pinus caribea: relaciones dosel-pradera. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Hart, H., 1928. Stamtal en dunning: een oriënteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en dunningswijze voor den djati. Veenman and Zonen, Wageningen.
- Hirigoyen, A., Rachid, C., 2014. Sistema de Apoyo a la Gestión Forestal. Modelos de Simulación de Crecimiento y Análisis Económico, Revista INIA, v.38, pág. 43-45.
- Horwitz, W., Latimer, G., 2007. Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland .
- INIA, 2016. SAG - Sistema de Apoyo a la Gestión Forestal 2014-2015 [WWW Document]. URL <http://www.iniaforestaluy.com/sag/menu.aspx?1191>
- INUMET, 2017. Instituto Uruguayo de Meteorología [WWW Document]. URL <https://inumet.gub.uy/>
- Jirousek, R., Klvas, R., Skoupy, A., 2007. Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. J. For. Sci. 53, 476-482.

- Jones, C.A., Dyke, P.T., Williams, J.R., Kiniry, J.R., Benson, V.W., Griggs, R.H., 1991. EPIC: An operational model for evaluation of agricultural sustainability. *Agric. Syst.* 37, 341-350. doi:10.1016/0308-521X(91)90057-H
- Kantor, S., 1999. Comparing yields with land equivalent ratios (LER). Renton.
- Kleinn, C., Morales, D., 2003. Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales. *Rev. For. Centroam.* 39/40, 6-12.
- Lacorte, S.M., Barth, S.R., Colcombet, L., Crechi, E.H., Esquivel, J.I., Fassola, H., Wick, R.Á., 2016. Silvopastoral Systems Developed in Misiones and Corrientes, Argentina. *Silvopastoral Syst. South. South Am.* 10-39.
- Methol, R., 2008. SAG Eucalyptus?: Sistema de apoyo a la gestión de Eucalyptus orientadas a la producción de celulosa en Uruguay. *Rev. Inia* 26.
- Methol, R., 2006. Sistema de Apoyo a la Gestión de Plantaciones de Eucalyptus globulus. *Rev. Inia Serie Técn.* 34.
- Methol, R., Rachid, C., Hirigoyen, A., 2015. Sistema de Apoyo a la Gestión Forestal [WWW Document]. URL <http://www.iniaforestaluy.com/sag>
- Moras, G., Vallejos-Barra, O.S., 2013. Tablas de volumen para árboles individuales de Eucalyptus globulus cultivados en la región sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 17, 11-24.
- Nuberg, I., George, B., Reid, R., 2009. Agroforestry for natural resource management. CSIRO, Collingwood.
- Oliveira, T.K. De, Macedo, R.L.G.M., Venturin, N., Higashikawa, E.M., 2009. Desempenho Silvicultural e Produtivo de Eucalipto sob Diferentes Arranjos Espaciais em Sistema Agrossilvipastoril. *Pesqui. Florest. Bras.* 60, 1-10. doi:10.4336/2009.pfb.60.01
- Olmos, F., Sosa, M., Balmelli, G., Pérez Gomar, E., 2011. Sistemas Agroforestales, INIA-Boletín de Divulgación N°100. Montevideo.
- Peri, P.L., Dube, F., Varella, A.C., 2016. Silvopastoral Systems in the subtropical and temperate zones of South America: An Overview, in: Peri, P.L., Dube, F., Varella, A.C. (Eds.), *Silvopastoral System in Southern South America*. USA, pp. 1-9. doi:10.1007/978-3-319-24109-8
- Porcile, M.J.P., 2007. Crónicas del desarrollo forestal del Uruguay. Fin De Siglo, Montevideo.
- Prodan, M., Roland, P., Cox, F., Real, P., 1997. *Mensura Forestal*. IICA - GTZ, San José, Costa Rica.
- Reid, R., 2009. Growing high-quality sawlogs, in: Nuberg, I., George, B., Reid, R. (Eds.), *Agroforestry for Natural Resource Management*. CSIRO, Collingwood, pp. 161-182.
- Sanquetta, C.R., Watzalwick, L.F., Dalla Côte, A.P., de Almeida, L., 2006. *Inventários Florestais: Planejamento e Execução*. Multi-Graphic, Curitiba, Brasil.
- SAS, 2012. SAS 9.4 University Edition.
- Schneider, P.R., Bueno Coelho, M.C., Zanon, M.L., Guimaraes Finger, C.A., Mayer Klein, J.E., 1997. Equacoes de Volume para Eucalyptus dunnii Maiden, determinadas para a depressao central do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural* 27. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781997000300010
- Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J.C., Cortazzo, D., Viera, G., 2010. La problemática del verano en la recría y engorde de ganado de carne en condiciones de pastoreo y de corral, in: Simeone, A., Beretta, V. (Eds.), *12a Jornada Anual de La Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC). Ganadería a Pasto, Feedlot e Industria Frigorífica: ¿es Posible Una Integración de Tipo Ganar-Ganar En La Cadena de La Carne?*. Facultad de Agronomía - EEMAC, pp. 56-63.
- Singh, M., 2006. Estimation of land equivalent ratios. *J. Appl. Stat.* 16, 1989, 363-371. doi:https://doi.org/10.1080/02664768900000044
- Somarriba, E., 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agrofor. Syst.* 19, 233-240. doi:10.1007/BF00118781
- StataCorp LP, 2015. *Stata User's Guide*.
- UBA, 2016. LART- Sistema de seguimiento forrajero [WWW Document]. URL <http://larfile.agro.uba.ar/lab-sw/sw/gui/Inicial.page> (accessed 6.20.16).

**ANEXO 1**

**Tabla 32.** Media y Desvío para DAP, AB, H y Vol según meses de evaluación para Sistema 1 y 2.

Edad	DAP (cm)		AB (m <sup>2</sup> /árb)		H (m)		Vol (m <sup>3</sup> /árb)	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>36</b>	8,7	8,7	0,0067	0,0067	7,9	8,4	0,028	0,029
<i>sd</i>	(0.28)	(0.26)	(0.0004)	(0.0003)	(0.34)	(0.33)	(0.0022)	(0.0021)
<b>41</b>	9,2	8,7	0,0077	0,0071	8,5 <sup>a</sup>	8,5 <sup>b</sup>	0,033	0,031
<i>sd</i>	(0.28)	(0.24)	(0.0005)	(0.0004)	(0.17)	(0.15)	(0.0026)	(0.0023)
<b>45</b>	9,7	9,4	0,0085	0,0080	9,4	9,1	0,040	0,037
<i>sd</i>	(0.28)	(0.25)	(0.0005)	(0.0004)	(0.18)	(0.15)	(0.0026)	(0.0023)
<b>51</b>	10,9	10,5	0,011	0,010	10,3	10,2	0,053	0,050
<i>sd</i>	(0.28)	(0.25)	(0.0005)	(0.0004)	(0.18)	(0.16)	(0.0026)	(0.0023)
<b>68</b>	13,1 <sup>a</sup>	12,2 <sup>b</sup>	0,015	0,016	12,0	12,0	0,086	0,087
<i>sd</i>	(0.28)	(0.24)	(0.0005)	(0.0004)	(0.18)	(0.15)	(0.0026)	(0.0023)

**Tabla 33.** Resultados para DAP y Ht promedio según meses de evaluación para Sistema 1 y 2 por estrato.

Estrato	Meses	DAP (cm)	Ht (m)	DAP (cm)	Ht (m)
		Sistema 1	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 2
1	36	s/d	s/d	s/d	s/d
	41	8,3 <sup>b</sup>	7,0 <sup>c</sup>	8,1 <sup>b</sup>	6,7 <sup>c</sup>
	45	9,2 <sup>a</sup>	7,8 <sup>c</sup>	8,8 <sup>a</sup>	7,1 <sup>c</sup>
	51	10,5 <sup>a</sup>	8,1 <sup>c</sup>	9,6 <sup>b</sup>	8,6 <sup>c</sup>
	68	13,2 <sup>a</sup>	10,4 <sup>c</sup>	13,8 <sup>a</sup>	9,9 c
2	36	7,9 b	7,0 <sup>b</sup>	7,9 <sup>b</sup>	7,4 b
	41	9,1 ab	8,1 <sup>b</sup>	8,5 <sup>b</sup>	8,5 b
	45	9,6 a	9,5 <sup>b</sup>	9,2 <sup>a</sup>	9,0 b
	51	10,8 a	10,4 <sup>b</sup>	10,3 <sup>ab</sup>	10,5 b
	68	12,9 a	12,1 <sup>b</sup>	12,5 <sup>a</sup>	12,2 b
3	36	9,6 a	8,9 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>	9,4 a
	41	10,2 a	10,3 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	10,2 a
	45	10,4 a	11,0 <sup>a</sup>	10,3a	11,0 a
	51	11,4 a	12,3 <sup>a</sup>	11,4 <sup>a</sup>	11,7 a
	68	13,0 a	13,6 a	13,2 a	13,9 a

Nota: La media (cm) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) dentro de cada mes.

**Tabla 34.** Medias de Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) y Volumen (m<sup>3</sup>/ha) para S1 y S2

Edad (meses)	Sistema 1		Sistema 2	
	AB (m <sup>2</sup> /ha)	VOL (m <sup>3</sup> /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	VOL (m <sup>3</sup> /ha)
36	6.74	27.45	5.57	23.11
<i>sd</i>	(3.40)	(17.01)	(1.56)	(9.29)
41	7.95	35.57	5.68	25.59
<i>sd</i>	(2.68)	(17.78)	(2.02)	(11.94)
45	8.73	43.14	6.33	30.91
<i>sd</i>	(2.47)	(18.16)	(2.23)	(14.84)
51	10.76	58.43	7.73	42.09
<i>sd</i>	(2.64)	(21.79)	(2.77)	(18.59)
68	14.96	92.02	11.28	70.77
<i>sd</i>	(2.93)	(25.34)	(2.84)	(24.24)

**Tabla 35.** Promedio de Área basal (m<sup>2</sup>/ha) y Volumen (m<sup>3</sup>/ha) según meses de evaluación y estratos, Sistemas 1 y 2.

Estrato	Meses	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
		Sistema 1	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 2
1	36	<i>s/d</i>	<i>s/d</i>	2.7	8.0
	41	5.1 <sup>b</sup>	19.0 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	10.5 <sup>b</sup>
	45	6.2 <sup>b</sup>	24.5 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	13.2 <sup>b</sup>
	51	7.9 <sup>b</sup>	32.0 <sup>b</sup>	4.1 <sup>b</sup>	18.1 <sup>b</sup>
	68	12.4 <sup>b</sup>	61.0 <sup>c</sup>	8.5 <sup>b</sup>	39.6 <sup>c</sup>
2	36	4.9	17.8	4.7	17.4
	41	7.3 <sup>b</sup>	30.0 <sup>b</sup>	5.4 <sup>ab</sup>	23.9 <sup>ab</sup>
	45	8.1 <sup>b</sup>	38.6 <sup>b</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	29.1 <sup>ab</sup>
	51	10.3 <sup>ab</sup>	53.0 <sup>b</sup>	7.6 <sup>a</sup>	39.8 <sup>ab</sup>
	68	14.7 <sup>ab</sup>	84.4 <sup>b</sup>	10.9 <sup>ab</sup>	63.6 <sup>b</sup>
3	36	9.3	41.0	6.8	31.1
	41	10.5 <sup>a</sup>	53.2 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	37.7 <sup>a</sup>
	45	11.1 <sup>a</sup>	59.1 <sup>a</sup>	8.2 <sup>a</sup>	43.7 <sup>a</sup>
	51	13.1 <sup>a</sup>	75.9 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	55.5 <sup>a</sup>
	68	17.3 <sup>a</sup>	105.9 <sup>a</sup>	13.4 <sup>a</sup>	84.8 <sup>a</sup>

**Tabla 36.** Media y Desvío para DAP, AB, H y Vol según meses de evaluación para Sistema 3 y 4.

Edad (meses)	DAP (cm)		AB (m <sup>2</sup> /árb)		H (m)		Vol (m <sup>3</sup> /árb)	
	S3	S4	S3	S4	S3	S4	S3	S4
19	4.91	4.00	0.0021	0.0014	4.74	4.21	0.0044	0.0026
<i>sd</i>	(1.48)	(1.28)	(0.0011)	(0.0008)	(1.18)	(1.11)	(0.0031)	(0.0021)
25	5.14	4.36	0.0024	0.0016	5.09	4.39	0.0056	0.0032
<i>sd</i>	(1.94)	(1.40)	(0.0016)	(0.0010)	(1.41)	(1.06)	(0.0051)	(0.0026)
31	6.47	5.34	0.0037	0.0025	7.09	5.39	0.0117	0.0061
<i>sd</i>	(2.20)	(1.74)	(0.0024)	(0.0016)	(1.74)	(1.51)	(0.0101)	(0.0053)
36	7.56	6.34	0.0053	0.0036	7.61	6.20	0.0227	0.0126
<i>sd</i>	(3.16)	(2.27)	(0.0038)	(0.0024)	(1.85)	(1.63)	(0.0201)	(0.0111)
57	9.82	8.55	0.0100	0.0077	10.57	8.81	0.0594	0.0395
<i>sd</i>	(5.53)	(4.99)	(0.0082)	(0.0065)	(2.43)	(2.52)	(0.0562)	(0.0401)

**Tabla 37.** Resultados para DAP y Ht promedio según meses de evaluación para Sistema 3 v Sistema 4.

Estrato	Meses	DAP Promedio (cm) Sistema 3	Ht Promedio (m) Sistema 3	DAP Promedio (cm) Sistema 4	Ht Promedio (m) Sistema 4
1	19	--	--	3,7	3,9
	25	--	--	4,1	4,1
	31	--	--	4,7	4,9
	36	--	--	5,2	5,7
	57	--	--	7,8	8,2
2	19	5,9 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	4,3 <sup>a</sup>	4,6 <sup>b</sup>
	25	6,5	5,7 <sup>b</sup>	4,5	4,5 <sup>b</sup>
	31	7,8	8,1 <sup>b</sup>	5,4	5,9 <sup>b</sup>
	36	8,5	8,5 <sup>b</sup>	6,2	6,5 <sup>b</sup>
	57	11,2	11,3	9,4	9,3
3	19	4,8 <sup>a</sup>	4,6 <sup>b</sup>	4,8 <sup>a</sup>	4,6 <sup>b</sup>
	25	5,0	5,0 <sup>b</sup>	5,0	5,1 <sup>b</sup>
	31	5,9	6,8 <sup>b</sup>	5,9	6,3 <sup>b</sup>
	36	7,2	7,4 <sup>b</sup>	7,2	7,6 <sup>b</sup>
	57	9,6	10,4	11,0	10,1

**Tabla 38.** Promedio de Área basal (m<sup>2</sup>/ha) y Volumen (m<sup>3</sup>/ha) según meses de evaluación y estratos, Sistemas 3 y 4.

Estrato	Meses	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) Sistema 3	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) Sistema 3	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) Sistema 4	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) Sistema 4
1	19	--	--	1.3	2.3
	25	--	--	1.5	2.8
	31	--	--	2.0	4.6
	36	--	--	2.9	9.4
	57			7.0	31,9 <sup>a</sup>
2	19	3.5	7.9	1.9	3.9
	25	4.4	10.9	2.0	4.2
	31	6.4	22.3	3.0	8.2
	36	7.9	36.2	4.2	15.9
	57	14.0	83.9	11.9	57.0 <sup>b</sup>
3	19	2.3	4.4	2.3	4.4
	25	2.6	5.7	2.5	5.5
	31	3.6	10.5	3.8	10.3
	36	5.6	22.3	5.6	22.6
	57	10.8	63.9	13.5	75.5 <sup>b</sup>





Bussoni Adriana<sup>(1)</sup>,  
Picasso Valentin<sup>(1,2)</sup>,  
Cubbage Frederick<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de la República (UDELAR), Facultad de Agronomía, Uruguay.

<sup>(2)</sup> University of Wisconsin - Madison.

<sup>(3)</sup> North Carolina State University, Raleigh, NC, USA

## Capítulo 2

### Grupos con producción conjunta carne y madera: la evolución reciente del sector en el Uruguay

#### RESUMEN

Cambios en el uso de la tierra agropecuaria han reducido la disponibilidad del área ganadera en Uruguay y se ha ido configurando un uso compartido entre la ganadería y la forestación. A partir de los datos de registros ganaderos en el establecimiento entre los años 2000-2013 se analiza la evolución de la ganadería y la forestación en los predios. De los microdatos censales agropecuarios 2011 se obtiene una base depurada, sobre la que se utilizó la metodología de escalamiento multidimensional y posteriormente la metodología de cluster para identificar los rasgos diferenciales de productores. Esto resulta en 7 grupos que se pueden dividir en dos subgrupos, los ganaderos con forestación (4 grupos) con masas boscosas en donde la forestación es el segundo rubro de actividad económica; el segundo subgrupo (3 grupos) que son los predios con forestación como principal actividad y con ganado en sus montes. Los ganaderos se diferencian entre sí en la orientación productiva, la tenencia de la tierra y el tamaño de la propiedad. Los medianos productores ganaderos presentan un 20 % de superficie forestada, en promedio los 4 grupos forestan un 29 % de la superficie, presentan mayor contratación de mano de obra externa y menor índice de contratación

de servicios (valor 3). Los 3 grupos forestales son unidades productivas que se diferencian en la organización legal, la integración o propiedad del ganado, la proporción forestada (> 52%) y la intensidad de contratación de servicios. Dentro de estos existe un grupo de forestadores que son medianos propietarios individuales con orientación a la cría. El grupo de empresas integradas es el de mayor índice de contratación externa (17) y el que presenta menor carga ganadera (0,2). La identificación de rasgos distintivos de los grupos posibilita la aplicación de políticas diferenciales al sector ganadero, en especial la herramienta de subsidios hacia productores familiares y medianos los cuales se pueden beneficiar en diversificar sus ingresos y el poder contribuir a un sector forestal con buenas perspectivas de mercado. Existe un potencial para que nuevos productores puedan incrementar la base de ganaderos con forestaciones; sin embargo esta integración requiere la implementación de políticas específicas hacia los grupos ganaderos. Se precisa asimismo más trabajo de investigación y extensión que evalúe la sustentabilidad de estos sistemas y su difusión.

**Palabras claves:** forestación; productores ganaderos; cambios en uso de la tierra; cluster.

### 1. INTRODUCCIÓN

Uruguay ha desarrollado un importante sector forestal a lo largo de estas tres décadas, lo que ha contribuido a la economía del país y ha cambiado el paisaje. Es estratégico entender e identificar los cambios que han acaecido en esta etapa para desarrollar políticas públicas y privadas que permitan un desarrollo inclusivo y que integre a un rubro tradicional como es la ganadería, el cual a su vez ha hecho un aporte fundamental a la economía lo largo de la historia rural uruguaya. Este trabajo analiza los rasgos distintivos de diferentes grupos que combinan ganadería y forestación en sus establecimientos y las implicancias para el desarrollo del sector agropecuario a futuro.

A diferencia de otras regiones forestales como Europa y América del Norte, la mayor parte de los bosques en Uruguay, se encuentran bajo la propiedad de empresas, que concentran el 88% del área forestada. El resto de la superficie bajo árboles no es menos importante tanto desde el abastecimiento de madera como de la estrategia que pueden fijar los productores no integrados a la industria. La dinámica de las tierras forestadas está ligada a los cambios de uso de la tierra en otros países (Barbier et al., 2010) lo que en Uruguay ha contribuido a cambiar la superficie dedicada a la ganadería.

A mediados de los 80 el área ganadera ocupaba 15,5 millones de ha, actualmente esa superficie es de unas 12 millones de ha (MGAP, 2013a), aunque Uruguay sigue siendo un país ganadero en la ocupación de su territorio. Se estima que entre los años 2000 y 2011 la reducción de la superficie ganadera ha sido de 1.3 millones de ha (MGAP, 2015). La forestación se establece en áreas ganaderas, para luego integrarse en mayor o menor medida, por lo que deberían buscarse aquellos modelos de integración que optimicen las sinergias de ambas producciones.

Entre los años 1995 y 2013 la dotación ganadera para 4 zonas consideradas (Tabla 1), disminuye en 2,08 millones de cabezas de ganado. En el mismo sentido la superficie de pastoreo se contrae en 3,8 millones de ha, lo que representa 30% menos de área para la actividad ganadera. Por el contrario, la evolución de la carga ganadera vacuna<sup>1</sup> (UG/ha) es dispar: en el período 2000-2005 crece en promedio 9% para las 4 zonas para luego decrecer 2% promedio entre 2007-2010 lo que da un aumento de carga promedio de 2,3% para todo el período, por lo que podemos inferir que se desarrolla en ese período un sistema de producción más intensivo (pero en realidad esto se da. La evolución reciente del área forestada en Uruguay, ha pasa-

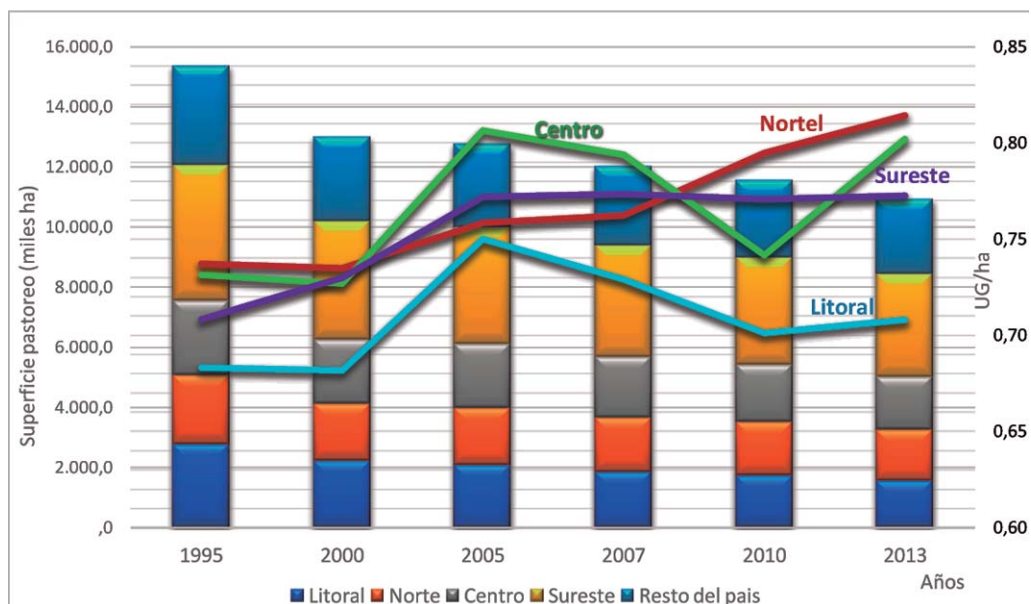
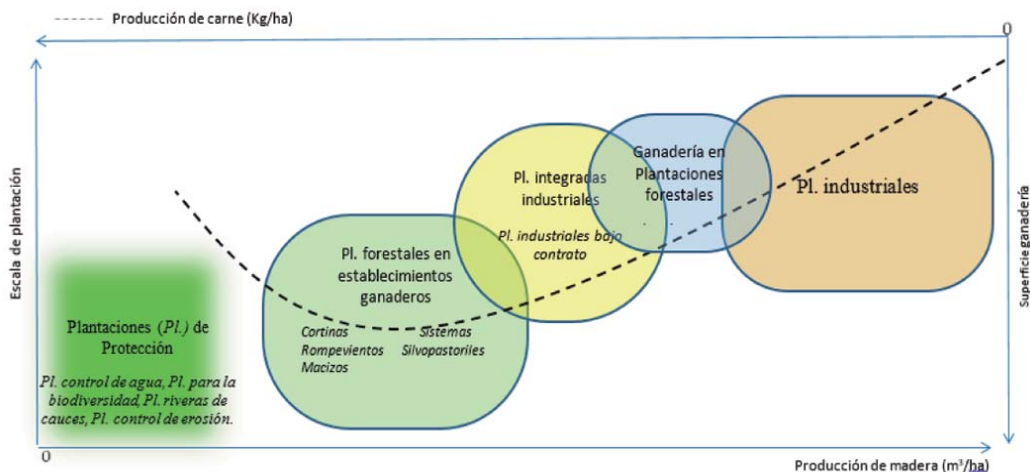


Figura 1. Evolución de área ganadera y carga en 4 zonas del Uruguay

**Tabla 1.** Evolución de existencias ganaderas (miles de UG), área de pastoreo (miles ha) y carga ganadera (UG/ha) en 4 zonas del Uruguay y resto del país.

Zona	Años	1995	2000	2005	2007	2010	2013	Zona	1995	2000	2005	2007	2010	2013	
<i>Litoral</i>	<i>UG</i>	1,953.4	1,539.3	1,605.2	1,379.2	1,255.9	1,148.8	<i>Centro</i>	1,827.1	1,562.7	1,705.9	1,612.7	1,397.9	1,406.6	
	Área pastoreo con monte	2,859.8	2,258.6	2,140.8	1,892.0	1,791.5	1,622.9		2,539.7	2,180.8	2,148.4	2,057.9	1,914.0	1,789.8	
	Área pastoreo sin monte	2,757.9	2,204.3	2,080.6	1,845.8	1,729.3	1,548.0		2,499.0	2,150.4	2,115.9	2,031.7	1,885.1	1,754.4	
	UG/ha (con montes)	0.68	0.68	0.75	0.73	0.70	0.71		0.72	0.72	0.79	0.78	0.73	0.73	0.79
	UG/ha (sin montes)	0.71	0.70	0.77	0.75	0.73	0.74		0.73	0.73	0.81	0.79	0.74	0.74	0.80
	<i>UG</i>	1,691.2	1,392.0	1,442.4	1,372.1	1,415.0	1,381.2		3,192.9	2,875.2	2,990.1	2,874.7	2,766.9	2,648.8	
<i>Norte</i>	Área pastoreo con monte	2,341.5	1,913.3	1,957.7	1,865.5	1,845.8	1,745.4	4,577.5	3,999.3	3,943.4	3,788.0	3,671.3	3,508.5		
	Área pastoreo sin monte	2,295.0	1,894.8	1,902.2	1,800.0	1,780.8	1,696.5	4,509.3	3,939.3	3,874.6	3,717.1	3,591.2	3,429.3		
	UG/ha (con montes)	0.72	0.73	0.74	0.74	0.77	0.79	0.70	0.72	0.76	0.76	0.75	0.75		
	UG/ha (sin montes)	0.74	0.73	0.76	0.76	0.79	0.81	0.71	0.73	0.77	0.77	0.77	0.77		
<i>Resto del país</i>	<i>UG</i>	2,482.9	1,908.5	2,139.0	1,837.7	1,848.8	1,885.5	11,147.5	9,277.8	9,882.7	9,076.4	8,684.6	8,470.9		
	Área pastoreo con monte	3,322.7	2,809.8	2,785.7	2,610.1	2,568.9	2,490.4	15,641.2	13,161.7	12,975.9	12,213.5	11,791.5	11,157.0		
	Área pastoreo sin monte	3,291.9	2,794.3	2,772.3	2,596.2	2,553.7	2,479.6	15,353.2	12,983.0	12,745.6	11,990.7	11,540.1	10,907.8		
	UG/ha (con montes)	0.75	0.68	0.77	0.70	0.72	0.76	0.71	0.71	0.76	0.74	0.74	0.76		
	UG/ha (sin montes)	0.75	0.68	0.77	0.71	0.72	0.76	0.73	0.72	0.78	0.76	0.75	0.78		

Fuente: En base a datos anuales Dicose 1995 y microdatos Dicose (años 2000 al 2013).



**Figura 2.** Grupos de productores con forestación con diferentes objetivos. Fuente: Adaptado de Nuberg et al. (2009)

do de 661.000 ha en el año 2000 (MGAP, 2003) a 983.000 ha afectadas (MGAP, 2013b).

Este capítulo tiene como objetivo identificar las diferentes formas de articulación de la forestación con la ganadería y los sistemas de producción que albergan estas producciones, lo que permite entender la organización productiva, el empleo de los recursos productivos y recursos naturales para posteriormente evaluar la sustentabilidad.

La combinación entre la producción de madera y la producción de carne en predios se presenta en una amplia variedad de combinaciones, de acuerdo a la escala de plantación y el énfasis en la producción de madera o servicios. En base al esquema de Nuberg et al. (2009), adaptado al caso de Uruguay, este abanico recorre desde el extremo de plantaciones de protección para el control de agua, biodiversidad y protección de riberas; en un punto intermedio si situarían las plantaciones forestales en establecimientos de productores independientes. Aumentando la escala de producción le siguen los contratos de producción que realiza la industria con productores independientes y en el extremo derecho la producción forestal en tierras propias de empresas industriales integradas en una interpretación de lo que podría ocurrir en el agro uruguayo (Figura 2). De especial interés es considerar que características en cuanto al tipo de propiedad, uso de los recursos, tipo de empleo contratado de-

berían presentar productores ganaderos que potencialmente puedan incorporar sistemas integrados, a partir del estudio de los grupos que actualmente llevan adelante en sus predios ambas actividades.

Trabajos que realizan agrupamientos de productores forestadores, sobre todo los no integrados verticalmente, realizados en el Hemisferio Norte, han tenido el objetivo de identificar a) cuáles son los factores que inciden en los momentos de cosecha forestal, la silvicultura y el manejo en sus montes (Jennings and Van Putten, 2006), b) cual es la actitud hacia la forestación (Gramann et al., 1985), c) los objetivos y la utilidad asignada al bosque por parte de los productores (Ingemarson, Lindhagen, & Eriksson, 2006; Urquhart & Courtney, 2011), los modelos de trabajo y administración (Novais and Canadas, 2010). Los grupos en general presentan una gran amplitud de superficie; por ejemplo Ingemarson et al. (2006) agrupa inicialmente sobre una base de 5 a 8000 ha de bosque. En otros estudios se homogeniza la superficie de productores ganaderos con forestación y se agrupan en base a indicadores económico-productivos (Gaspar et al., 2007). Las variables para realizar los agrupamientos responden en algunos casos a los objetivos contrapuestos, entre producción y conservación de los bosques de productores no integrados: sobre una revisión de seis estudios previos Boon, Meilby & Thorsen (2004) clasifica 5 grupos forestales: el economista, el multiobjetivo, el

autosuficiente, el recreacionista y el pasivo, mientras que Richter & Lewis (2007) identifica el valor de legado como variable clasificatoria.

En Uruguay, existen antecedentes para productores ganaderos que identifican la actitud hacia la incorporación tecnológica y las variables de motivación (Ferreira, 1997), las trayectorias tecnológicas de productores ganaderos (Mondelli and Picasso, 2001) y agrupamientos aplicados a productores ganaderos familiares (Prieto and Wins, 2007), una tipología para el Norte del país construida en base a la propiedad de la tierra y el ganado (Carriquiry et al., 2012), uno de los tipos identificados son productores ganaderos que mandan su ganado a las empresas forestales, arrendando esa superficie de pastoreo bajo montes. Sin embargo; existe poca evidencia, más allá de estos trabajos citados que intenten comprender los grupos de productores que hayan integrado ambas producciones o forestadores que alberguen ganado en sus montes para el sector rural en su conjunto. La identificación de estos grupos y su caracterización permitirá la aplicación de políticas de estímulo diferenciales hacia las necesidades de cada grupo, que converjan con los intereses del sector.

El objetivo del presente trabajo es identificar en el contexto de cambio de uso del territorio en Uruguay, los diferentes sistemas ganaderos y forestales, lo que servirá posteriormente para evaluar la sostenibilidad de los grupos obtenidos.

## Metodología

El estudio sobre los sistemas ganaderos y forestales se realizó empleando bases de dato nacional y métodos estadísticos. Los datos nacionales son por un lado el registro anual de la cantidad de cabezas de ganado en los predios (DICOSE en diferentes años) y por otro el Censo Agropecuario 2011 que releva características de todas las unidades productivas del país.

La identificación de las principales relaciones entre la ganadería y la forestación se realizó en varias etapas:

- I) Análisis de la evolución de la ganadería y la forestación en los predios, Datos Dicose,
- II) A partir de los microdatos del Censo General Agropecuario 2011, preparación de la base depurada,
- III) Obtención de una matriz a partir de la técnica de Escalamiento multidimensional,
- IV) Agrupamiento de los predios aplicando Análisis de Cluster,
- V) Interpretación de los resultados obtenidos.

### **Etapa I)**

En una primera etapa se analiza la evolución de los ganaderos en base a declaraciones juradas anuales y obligatorias, para un período de 13 años (Dicose años 2000, 2005, 2007, 2010 y 2013). Cada productor debe hacer anualmente el registro de las existencias y propiedad del ganado dentro del predio, en el que también se declara la superficie de montes forestales y, si corresponde, la cantidad de ganado en predios ajenos (MGAyP, 2001, citado por Saravia, César, Montes, Taranto, & Pereira, 2011), por lo que productores forestales que alberguen ganado deben realizar esta declaración. Un productor puede tener más de un número de registro de ganado o Unidad Productiva (UP), por lo que no necesariamente coincide el número de registros con el número de productores ganaderos, si bien la evolución de esta base es consistente a lo largo de los años.

### **Etapa II)**

En una segunda etapa se trabajó con los microdatos del Censo Nacional Agropecuario 2011 (MGAP, 2013a) que se realiza cada 10 años en Uruguay, releva todos los predios en el sector agropecuario, siendo la base más completa que dispone el país. Sobre ésta se seleccionó la población objetivo a partir del tamaño y la superficie forestada.

### **Etapa III)**

Las técnicas de análisis multivariado asumen una distribución normal de las variables continuas empleadas, como ocurre con el análisis de Componentes

Principales (Rabe-Hesketh and Everitt, 2004). Esta condición no se cumple para la base de datos utilizada, por lo que se empleó la técnica de Escalamiento Multidimensional que consiste en una reducción del número de variables a partir de una matriz de distancia, lo que ayuda a entender las principales relaciones; se obtienen variables síntesis en donde cada dimensión resume las variables más próximas entre sí. Para el trabajo se emplearon 7 variables dimensionales a partir de la medida de disimilaridad de Gower.

#### **Etapa IV)**

Se obtuvieron los grupos aplicando el Análisis de Cluster, algoritmo de Ward (Ward, 1963) que utiliza el agrupamiento jerárquico a partir de la minimización de la varianza dentro de cada grupo. Se empleó la distancia de Gower que permite trabajar con variables tanto categóricas como continuas (Franco, 1998).

#### **Criterio para la base depurada**

La base de datos original del Censo, está compuesta por 12.597 predios agropecuarios con e»1 ha forestada, sobre este conjunto se identificaron 1,019 casos que abarcan predios 100 ha de superficie en propiedad, con producción forestal y ganado, predios forestales que alberguen ganado en sus montes y predios ganaderos con más del 5% forestado. Cuando existe área forestada en un predio, el registro mínimo es de 1 ha, lo que incluye una gran variedad de casos como UP que pueden estar compuestas por más de una fracción, pero comparten los medios de producción. La declaración de la superficie forestada en algunos casos abarca áreas residuales, sin un objetivo claro. Con el fin de que el agrupamiento refleje sistemas silvopastoriles mejor definidos y en base a nuestra experiencia previa, se consideraron los casos de predios forestales o ganaderos a partir del 5% forestado, lo que a priori se considera, abarcan situaciones de objetivos variados en los diferentes predios como: (a) producción de madera (b) brindar servicios a la ganadería y (c) objetivos mixtos de los montes. Asimismo, se evaluó que el incorporar un porcen-

taje menor de forestación en los predios (< 5%) no mejoraría la base de análisis e incluiría situaciones como las descriptas al inicio de este párrafo.

#### **Variables empleadas para el agrupamiento**

Para la caracterización de los grupos se utilizaron 15 variables originales (9 continuas y 6 categóricas) y 17 variables creadas (16 continuas y 1 categórica). Se dividen en cinco grupos de variables: a) *Tenencia*, b) *Uso del suelo*, c) *Nivel tecnológico ganadero e intensificación* d) *Producción ganadera y orientación ganadera* y e) *Variables sociales* (ver Tabla 2).

La relación entre el número de Novillos de más de 2 años y las Vacas de cría (Nov\_VC) en un establecimiento, es comúnmente utilizada en la ganadería uruguaya para definir la especialidad ganadera. Se considera *Criador* si la relación  $Nov\_VC \geq 0,2$ , *Invernador*  $Nov\_VC \leq 2$ , *Ciclo Completo* si  $0,2 < Nov\_VC > 2$  (Crempien, 2008; INIA, 2012). Tomando como referencia esta relación, en nuestro trabajo se transformaron las cabezas en Unidades Ganaderas (Saravia et al., 2011, pág. 13) y se genera la variable Criador, Invernador y Ciclo Completo considerando los mismos valores sobre la base de la relación entre UG de engorde (Novillos) y UG de rodeo de cría (Vacas, Vaquillonas y Terneros). Finalmente, se calculó la especialización Ovina cuando la relación cabezas de lanares y vacunos es  $> 3$  (MGAP, 2015). La superficie de diferentes clases de praderas se sumó dentro de la Unidad Productiva; el mismo tratamiento se aplicó a los cultivos anuales forrajeros. Se creó un Índice de Contratación de Servicios en donde se pondera en mayor grado la contratación de servicios para la forestación y en menor grado para la ganadería de la siguiente manera: puntuación 8-Plantación o cosecha forestal, 7-Raleo y Poda, 6-Ase-radero, 5-Cosechas en general, 4-Laboreos en general, 3-Aplicación de agroquímicos, 2-Pastoreo. El objetivo del Índice es detectar aquellos predios que tienen alto nivel de contratación y compararlo con el grado de mano de obra que trabaja en el predio, para identificar y evaluar

**Tabla 2.** Variables empleadas en la descripción de los grupos.

Variable	Unidad	Código	Variable (C: Continua, Ca: Categoría)	Observations O= Original Cr= Creada
<b>Tenencia</b>				
Área en Propiedad	ha	sup_propiedad	C	O
Área total	ha	sup_total	C	O
Área no propia	ha	areanoprop	C	O
Proporción de la Propiedad (Área Propiedad/Área total)	%	suprop_suptot	C	Cr
<b>Ocupación productiva del territorio (Uso del Suelo)</b>				
Montes artificiales	ha	ma	C	O
Pino	ha	pino	C	O
Eucalipto	ha	eucalipto	C	O
Proporción montes	%	propma_sup1 (sobre área total) propma_sup2 (sobre área propia)	C	Cr
Área ganadera	ha	areaganadera	C	Cr
Proporción Área ganadera	%	prop_area_ganadera = areaganadera (forrajeros+praderas+cn) /sup.total	C	Cr
<b>Nivel tecnológico ganadero e intensificación</b>				
Área con pasturas plurianuales	ha	pp	C	O
Área con mejoramientos	ha	area_mejorada = (sup_cult_forraj_anual + sup_pradera_artif)	C	Cr
Proporción Área Mejorada	%	prop_area_mejorada (área mejorada/área ganadera)	C	Cr
UG/ha(ug/ha)	UG/ha	ug_ha (ugt/sup.total)	C	Cr
UG/ ha área ganadera	UG/ha	ugt_area_ganadera	C	Cr
UG /ha área ganadera y forestal	UG/ha	ugt_area_falyganadera	C	Cr
Mano de Obra contratada	Nº personas	mocontratada	C	Cr
Mano de obra contratada/1000 ha <sup>2</sup>	--	MO_1000	C	Cr
Asesoramiento profesional	--	ing_agr veterinario técnico otros	Ca	O
Contratación servicios	--	Índice-Servicios	Ca	Cr
<b>Producción ganadera, carga animal y orientación ganadera</b>				
<b>Escala de Producción ganadera</b>				
Unidad Ganaderas en esTablacimiento	UG	ugt	C	Cr
UG Vacunos	UG	TotalUGVac	C	Cr
UG Ovinos	UG	TotalUGOvino	C	Cr
Campo Natural	ha	cnr <sup>5</sup>	C	O
Superficie praderas permanentes	ha	sup_praderas	C	O
Relación UG Ovino/ UG Vacuno	%	ugo_ugv	C	Cr
UG por superficie forestada	--	ugt_ma	C	Cr
Orientación Ganadera	--	1: Cría, 2: Invernada, 3: Ciclo Completo, 4: Sin ganado vacuno; Ovejero	Ca	Cr
Pastoreo de ganado (propio o ajeno) bajo los montes forestales	--	ganado_monte	Ca	O



**Tabla 2.** Variables empleadas en la descripción de los grupos. (Continuación.)

Variable	Unidad	Código	Variable (C: Continua, Ca: Categorica)	Observations O= Original C= Creada
<b>Variables sociales y de ubicación: Departamento, Educación, edad, sexo, etc.</b>				
Departamento	--	dpto	Ca	O
Edad <sup>3</sup> (es el rango de edad)	años	edad	C	O
Nivel Educativo		1: Ninguno, 2: Primaria, 3: Secundaria, 4: Técnica, 5: Universitaria, 6: Otros	Ca	O
Residencia en la explotación	--		Ca	O
Fuentes de Ingreso en la Unidad Productiva <sup>1</sup>	--	Forestación, Vacunos, Ovinos	Ca	O
Tipo de Empresa o Sociedad (Organización jurídica)	--	Unipersonal, SA, SRL, etc.	Ca	O

<sup>1</sup>Var resultante de la suma de superficie de diferentes especies forrajeras, <sup>2</sup>Mano de obra sobre 1.000 ha en propiedad.

formas indirectas de generación de empleo forestal y ganadero. Con el objetivo de incorporar la actividad principal en el agrupamiento, se creó la variable Ingreso Principal en donde se pondera con valor de 5, 2 y 1 a la forestación, la ganadería y la actividad ovina como principal actividad productiva, respectivamente. .

### Descripción de la población

Se describe la población bajo estudio (Tabla 3) a partir de los valores medios de 4 Zonas (Figura 3) para las variables de propiedad, uso del suelo y orientación productiva para todo el país y para las zonas. Los predios se distribuyen 39%



**Figura 3.** Zonas consideradas para Uruguay

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de las principales variables de la población para Uruguay y Zonas.

Variable	Uruguay	Litoral	Norte	Centro	Sureste
<i>n</i>	1.238	214	186	150	483
Área en Propiedad	1.316,6	2.201 <sup>a</sup>	1.780,4 <sup>a</sup>	908,4 <sup>b</sup>	915,6 <sup>b</sup>
(Standard deviation)	(2.259,0)	(3.509,9)	(2.749,0)	(1.378,4)	(1.452,0)
Área no propia	216,5	384,8	245,8 <sup>a</sup>	226,0 <sup>a</sup>	149,3
	(678,5)	(1.013,9)	(730,7)	(533,0)	(480,8)
Área Propiedad (%)	87,5%	85,5% <sup>a</sup>	85,8% <sup>a</sup>	83% <sup>a</sup>	89,5%
	(24,0%)	(25,2%)	(26,0%)	(26,8%)	(21,9%)
Montes forestados	662,5	1.198,6	1.048,5	340,3 <sup>a</sup>	397,5 <sup>a</sup>
	(1.379,1)	(2.177,5)	(1.664,1)	(622,2)	(854,5)
Área ganadera	769,2	1.257,6 <sup>a</sup>	888,9 <sup>ab</sup>	734,2 <sup>b</sup>	580,1
	(1.220,8)	(.852,3)	(1.300,5)	(1.051)	(868,1)
Ganado_superficie (UG/ha)	0,75	0,71 <sup>a</sup>	0,54	0,86 <sup>a</sup>	0,82
	(1,68)	(1,10)	(0,99)	(1,46)	(2,02)
Campo Natural	691,5	1.165,3 <sup>a</sup>	858,3 <sup>a</sup>	623,1 <sup>b</sup>	497,0 <sup>b</sup>
	(1.169,1)	(1.806,9)	(1.282,8)	(961,1)	(787,9)
Superficie de Praderas	30,2	48,1 <sup>a</sup>	13,0	42,7 <sup>a</sup>	27,3
	(103,1)	(181,5)	(68,8)	(96,5)	(72,6)
Especialización ganado de cría	39,2%	30,8% <sup>a</sup>	30,6% <sup>a</sup>	38,7% <sup>a</sup>	42,4% <sup>a</sup>
	(48,8%)	(46,3%)	(46,2%)	(48,9%)	(49,5%)
Ciclo completo	24,7% <sup>a</sup>	24,3%	22,0%	24,7%	27,3%
	(43,2%)	(43,0%)	(41,6%)	(43,3%)	(44,6%)
Invernada	9,4%	7,5%	5,4%	10,7%	12,4%
	(29,2%)	(26,4%)	(22,6%)	(31,0%)	(33,0%)
Superficie Forestada (ha)	820.183	256.501	195.017	51.039	191.991
**	1.071.323				
Superficie ganadera(ha)	952.209	269.122	165.327	110.131	280.184
***	7.668.207				
Total UG cría	196.316	37.929	22.942	25.774	79.015
***	2.250.422				
Total UG Invernada	64.915,8	12.971,4	8.416,4	11.386	25.546,4
***	746.84,8				
Total UG Ovinas	42.461	7.787,7	4.502,4	6.594,6	18.194,8
**	706.626,4				

Fuente: Elaborado a partir de Dicose 2013. Valores medios sin letra superíndice en común son significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ). Zonas con igual letra superíndice no son significativamente diferentes (Kruskal-Wallis,  $p \geq 5\%$ , ajustado para múltiples comparaciones). \*\*Total Nacional (MGAP, 2014). \*\*\*Valores totales calculados a partir del total de UP con forestación.

en la zona Sureste, 17% en la Zona Litoral, 15% en la Zona Norte y 12% en la Zona Centro. El restante 17 % se encuentra en el resto del país. Los valores medios de propiedad, producción forestal y ganadera, presentan valores medios mayores en las zonas Litoral y Norte, y se diferencian con respecto a la Zona Centro y Sureste, que presentan un área menor. Es de destacar que todos los resultados presentan un coeficiente de variación mayor al 100%, lo que refleja la diversidad de situaciones productivas dentro de la especialización forestación y ganadería con forestación.

En cuanto a la especialización ganadera todas las zonas, presentan la actividad cría como predominante, no presentando diferencias significativas entre las zonas. Sigue en orden de importancia la producción de ciclo completo e invernada, respectivamente. Si consideramos todos los predios que presentan forestación en Uruguay(\*\*), el área forestada y ganadera, están representadas en 77% y 12,4% respectivamente, por lo que nuestro universo de análisis abarca una participación importante del territorio nacional con unidades que combinan ambas actividades.

## RESULTADOS

En una primera parte se presentan los resultados de estadística descriptiva y evolución de las variables de tamaño, tenencia, uso del suelo y orientación productiva entre el período 2000-2013. En la segunda parte se analizan los grupos obtenidos.

La actividad ganadera es la más numerosa del Uruguay, un 52% de las unidades productivas producen ganado vacuno como actividad principal y 14% como actividad secundaria. La forestación representa solo un 2% de los productores con actividad principal y secundaria, como se observa en la Tabla 11. Si analizamos la base Dicose, año 2013, un 86 % de las Unidades Productivas<sup>2</sup> (Ups)

<sup>2</sup> Unidad Productiva (UP) es la unidad censal de producción agropecuaria con gerencia única. Una UP puede tener varios predios en un mismo Departamento o limítrofes. Esto resulta en que grandes empresas que poseen fracciones en varios Departamentos aparezcan como diferentes UP si bien están bajo la misma propiedad.

no declara ningún tipo de forestación, 5.038 UPs presentan forestación sin importar el rubro productivo y 1.242 UPs ganaderos tienen forestación en un área  $\geq$  5% (Tabla 4). El total de superficie de montes en establecimientos forestales es de 450.584 ha, la mayoría bajo la propiedad de grandes empresas.

Entre los años 2000 al 2013 la actividad ganadera se contrae en la ocupación del territorio (Tabla 4); el número de UPs y la superficie desciende en un 12 % y 25%, respectivamente. El número de establecimientos con un área  $\geq$  al 5% forestado se mantuvo prácticamente igual en ese período con una variación del 5%, aumentando la superficie promedio forestada. Los establecimientos ganaderos con más del 5% forestado aportan 249.190 ha, mientras que los predios forestales presentan 469.000 ha de superficie forestada del país, respectivamente.

La mayoría de la superficie de montes se encuentra en predios con un 60-70 % de la superficie forestada como se aprecia en la Figura 1, por otro lado existe una gran dispersión de predios con baja superficie de montes y diferente proporción forestada.

### Los grupos encontrados

Se obtienen 7 grupos cuyas principales características se resumen en la Tabla 5. En el 80 % de los establecimientos, la actividad rural es la principal fuente de ingresos: la excepción es el Grupo 7 conformado principalmente por inversores con otras fuentes de ingreso.

La superficie involucrada en los grupos es más de 1,2 millones de ha de los cuales el Gr. 6 detenta el 29% de la propiedad de la tierra y el 39 % de la superficie forestada de aproximadamente 622 mil ha. Una superficie similar de campo natural que en un 60 % está bajo los grupos ganaderos.

**Tabla 4.** Evolución del número de establecimientos, superficie en propiedad y forestación.

	<i>Año</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2007</i>	<i>2010</i>	<i>2013</i>
Establecimientos Ganaderos	Número	37.458	37.748	38.108	37.445	32.902
	Superficie propiedad total (ha)	7.281.835	6.730.091	6.417.387	6.313.227	5.461.732
	Superficie promedio (ha)	194	178	168	169	166
	Superficie en explotación total (ha)	<b>13.521.963</b>	<b>13.299.417</b>	<b>12.517.784</b>	<b>12.241.564</b>	<b>10.691.699</b>
	Superficie promedio en explotación/declaración (ha)	361	352	328	327	325
	Superficie promedio forestada (ha)	4,8	6,1	5,8	6,7	6,9
	Proporción forestada*	0,8%	1,0%	1,1%	1,1%	1,1%
	<hr/>					
Establecimientos Ganaderos >= 5% forestado	Número predios	1.188	1.292	1.280	1.251	1.242
	Porcentaje de ganaderos con > 5% forestado	3,2%	3,4%	3,4%	3,3%	3,5%
	Superficie propiedad total (ha)	450.490	423.059	394.522	437.475	447.617
	Superficie promedio (ha)	379	327	308	350	360
	Superficie en explotación total (ha)	<b>658.152</b>	<b>705.939</b>	<b>629.681</b>	<b>720.183</b>	<b>743.443</b>
	Superficie promedio en explotación/declaración (ha)	554	546	492	576	599
	Superficie promedio forestada (ha)	111	148	148	178	180
	Proporción forestada	21%	26%	28%	30%	30%
<hr/>						
Establecimientos Forestales	Número	391	345	411	668	687
	Superficie en propiedad total (ha)	446.913	422.463	486.213	609.069	632.040
	Superficie promedio en propiedad/declaración (ha)	1.143	1.225	1.183	912	920
	Superficie en explotación total (ha)	<b>485.699</b>	<b>459.581</b>	<b>549.126</b>	<b>657.458</b>	<b>701.958</b>
	Superficie promedio en explotación (ha)	1.242	1.332	1.336	984	1.022
	Superficie promedio forestada (ha)	887	873	854	717	683
	Proporción forestada	72%	67%	68%	77%	72%

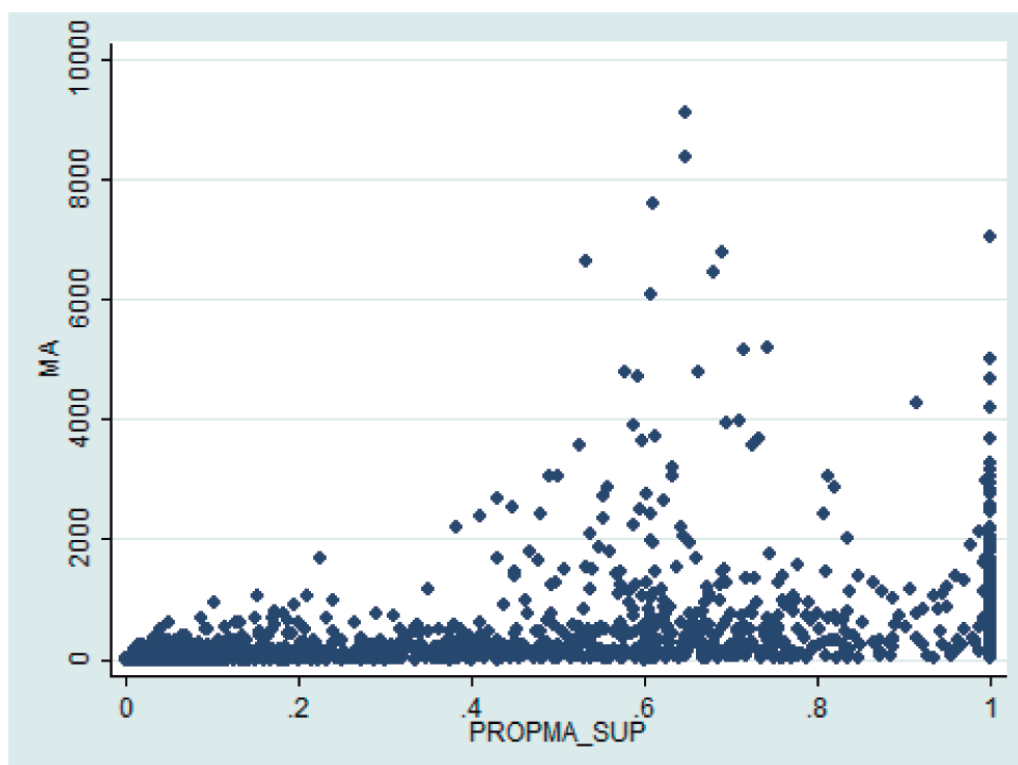


Figura 4. Distribución de montes forestales según la proporción forestada en base a Dicose-2013.

Tabla 5. Grupos que combinan ganadería y forestación.

Grupos	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6	Gr. 7
Breve descripción	<i>Ganaderos Invernadores</i>	<i>Ganaderos Arrendatarios</i>	<i>Ganaderos ciclo completo</i>	<i>Ganaderos criadores</i>	<i>Empresas Forestadoras con ganado</i>	<i>Grandes Forestadores que dan área a pastoreo</i>	<i>Productores y empresas Forestadoras extensivas</i>
<i>n</i>	85	277	115	185	118	140	99
Total Área en Propiedad (ha)	48.066	223.723	81.209	139.871	205.772	359.677	174.205
Tierra arrendada (ha)	12.659	60.035	16.328	12.426	2.798	28.172	459
Total Área forestada (ha)	9.688	65.614	29.437	41.506	132.181	239.622	103.795
Proporción área forestada (%)	20%	29%	36%	30%	64%	67%	60%
Unidades Ganaderas (n)	40.989	200.961	73.417	97.906	33.576	18.598	31.741
Campo Natural (ha)	27.343	194.329	65.297	108.618	58.033	129.256	53.969

1:Ganaderos Invernadores; 2:Ganaderos Arrendatarios; 3: Ganaderos ciclo completo; 4: Ganaderos criadores; 5: Grandes Empresas Forestadoras con ganado; 6: Forestadores que dan área a pastoreo; 7: Productores y empresas Forestadoras

Tabla 6. Valores Medios en el uso de la tierra.

Variable	Unidad	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6	Gr. 7
Área Total	has	744 <sup>a</sup>	1.221 <sup>b</sup>	1.023 <sup>ab</sup>	945 <sup>a</sup>	1.776 <sup>bc</sup>	2.793 <sup>c</sup>	1.795 <sup>ab</sup>
Propiedad	has	565 <sup>a</sup>	808 <sup>ab</sup>	706 <sup>ab</sup>	756 <sup>a</sup>	1.744 <sup>c</sup>	2.569 <sup>c</sup>	1.760 <sup>bc</sup>
Propiedad/Área Total	%	87% <sup>abcd</sup>	77% <sup>ad</sup>	77% <sup>abd</sup>	87% <sup>bd</sup>	99% <sup>c</sup>	92% <sup>d</sup>	98% <sup>c</sup>
Área Forestada	has	114 <sup>a</sup>	237 <sup>ab</sup>	256 <sup>b</sup>	224 <sup>ab</sup>	1.120 <sup>cd</sup>	1.712 <sup>c</sup>	1.048 <sup>d</sup>
Eucalipto	has	97 <sup>a</sup>	194 <sup>a</sup>	207 <sup>a</sup>	189 <sup>a</sup>	819 <sup>bc</sup>	1237 <sup>b</sup>	819 <sup>c</sup>
Pino	has	13 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	299 <sup>bc</sup>	466 <sup>b</sup>	227 <sup>c</sup>
Área Ganadera	has	491 <sup>ab</sup>	892 <sup>c</sup>	666 <sup>bc</sup>	648 <sup>ab</sup>	510 <sup>b</sup>	939 <sup>bc</sup>	566 <sup>b</sup>
Área Ganadera/Área Total	%	71% <sup>a</sup>	75% <sup>a</sup>	68% <sup>a</sup>	70% <sup>a</sup>	30% <sup>b</sup>	35% <sup>b</sup>	40% <sup>b</sup>
Área Ganadera/Área Propiedad	%	106% <sup>abc</sup>	147% <sup>bc</sup>	119% <sup>ac</sup>	107% <sup>b</sup>	32% <sup>d</sup>	45% <sup>d</sup>	44% <sup>d</sup>
Área Forestada	%	17% <sup>ab</sup>	17% <sup>a</sup>	25% <sup>b</sup>	24% <sup>b</sup>	63% <sup>c</sup>	61% <sup>c</sup>	52% <sup>c</sup>
Pino/ Área Forestada	%	9% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>	17% <sup>bc</sup>	15% <sup>b</sup>	14% <sup>ac</sup>
Área Ganadera/Área Forestada		4 <sup>ab</sup>	4 <sup>b</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>ab</sup>	0,5 <sup>c</sup>	0,5 <sup>c</sup>	0,5
Campo Natural	has	322 <sup>a</sup>	702 <sup>b</sup>	568 <sup>bc</sup>	587 <sup>abc</sup>	492 <sup>ac</sup>	923 <sup>b</sup>	545 <sup>c</sup>
Pasturas Plurianuales	has	56 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	39 <sup>bc</sup>	19 <sup>c</sup>	5 <sup>d</sup>	12 <sup>cd</sup>	3 <sup>d</sup>
Área Mejorada/Área Ganadera	%	23% <sup>a</sup>	16% <sup>a</sup>	8% <sup>b</sup>	6% <sup>bc</sup>	2% <sup>d</sup>	2% <sup>cd</sup>	2% <sup>c</sup>

Nota: Valores que no comparten letra son significativamente diferentes ( $p < 1\%$ ), test Kruskal-Wallis para múltiples comparaciones.

1:Ganaderos Invernadores; 2:Ganaderos Arrendatarios; 3: Ganaderos ciclo completo; 4: Ganaderos criadores; 5: Grandes Empresas Forestadoras con ganado 6: Forestadores que dan área a pastoreo; 7: Productores y empresas Forestadoras.

Tabla 7. Especialización productiva.

Variable	Unidad	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6	Gr. 7
Unidad Ganadera	UG	482 <sup>abc</sup>	725 <sup>d</sup>	638 <sup>ad</sup>	529 <sup>ac</sup>	285 <sup>bc</sup>	133	321 <sup>c</sup>
UG/Área Ganadera	UG/ha	0,94 <sup>ab</sup>	0,93 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>	0,96 <sup>c</sup>	0,21	0,98 <sup>bc</sup>
UG Área Ganadera y Forestada	UG/ha	0,74 <sup>ab</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,68 <sup>ab</sup>	0,23 <sup>c</sup>	0,07	0,3 <sup>c</sup>
UG/Área Forestada	UG/ha	8,49 <sup>a</sup>	10,58 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	7,12 <sup>a</sup>	0,48 <sup>b</sup>	0,12	1,26 <sup>b</sup>
UG ovino /UG vacuno		0,25 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,01	0,27 <sup>a</sup>
Actividad Cría	%	0%	58%	0%	100%	0%	29%	100%
Ciclo completo	%	0%	42%	100%	0%	63%	1%	0%
Engorde	%	99%	0%	0%	0%	19%	6%	0%
Sin ganado	%	1%	0%	0%	0%	18%	<b>64%</b>	0%
Especialización Ovinos <sup>a</sup>	%	5%	4%	3%	2%	3%	1%	9%
Ganado bajo forestación	%	20%	31%	32%	32%	76%	95%	67%

Nota: Valores que no comparten letra son significativamente diferentes ( $p < 1\%$ ), test Kruskal-Wallis para múltiples comparaciones.

1: Ganaderos Invernaderos; 2: Ganaderos Arrendatarios; 3: Ganaderos ciclo completo; 4: Ganaderos criadores; 5: Grandes Empresas Forestadoras con ganado;

6: Forestadores que dan área a pastoreo; 7: Productores y empresas Forestadoras.

**Tabla 8.** Variables sociales.

Variable	Unidad	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6	Gr. 7
Empleados		2 <sup>ab</sup>	5 <sup>b</sup>	2 <sup>ab</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
Empleados_1000 (n/1000 ha)		3 <sup>ab</sup>	4 <sup>a</sup>	2 <sup>bc</sup>	2 <sup>abcd</sup>	2 <sup>d</sup>	1 <sup>d</sup>	2 <sup>cd</sup>
Índice Contratación Servicios		5 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	0,3	1	9 <sup>b</sup>	17	6 <sup>a</sup>
Residencia en predio	%	24%	32%	34%	29%	3%	0%	12%
Educación universitaria***	%	21%	21%	23%	25%	13%	1%	16%
Ed. Secundaria	%	12%	17%	13%	12%	5%	--	9%
Ed. Primaria	%	7%	7%	10%	14%	3%	--	3%
Propietario Unipersonal	%	59%	65%	76%	63%	22%	1%	40%
Sociedad Anónima	%	25%	16%	10%	19%	72%	96%	48%
Otro tipo de Sociedad	%	13%	17%	13%	15%	4%	1%	9%

\*\*\* Nivel de Educación, se calculó solo para los predios cuyo propietario es una persona (se excluyeron sociedades). Nota: Valores que no comparten letra son significativamente diferentes ( $p < 1\%$ ), test Kruskal-Wallis para múltiples comparaciones.

1: Ganaderos Invernaderos; 2: Ganaderos Arrendatarios; 3: Ganaderos ciclo completo; 4: Ganaderos criadores; 5: Grandes Empresas Forestadoras con ganado; 6: Forestadores que dan área a pastoreo; 7: Productores y empresas Forestadoras.

**Tabla 9.** Ingreso.

Variable	Unidad	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6	Gr. 7
Principal Ingreso	%	78%	83%	80%	75%	84%	97%	66%
Ingreso Ganadero Principal	%	98%	95%	100%	100%	0%	0%	0%
Ingreso Ganadero Segundo	%	1%	4%	0%	0%	41%	21%	67%
Ingreso Forestal Principal	%	0%	1%	0%	0%	94%	100%	89%
Ingreso Forestal Segundo	%	20%	11%	14%	18%	2%	0%	0%
Ingreso Oveja Principal <sup>a</sup>	%	2%	4%	0%	0%	6%	0%	11%
Ingreso Oveja Secundario	%	25%	52%	57%	50%	3%	1%	1%

1: Ganaderos Invernaderos; 2: Ganaderos Arrendatarios; 3: Ganaderos ciclo completo; 4: Ganaderos criadores; 5: Grandes Empresas Forestadoras con ganado; 6: Forestadores que dan área a pastoreo; 7: Productores y empresas Forestadoras.



Los 4 grupos ganaderos poseen mayor área ganadera que el área en propiedad, ya que en todos los casos complementan el área propia con predios arrendados fuera del establecimiento. La intensidad en el uso de los recursos se resume en Tabla 7, los ganaderos presentan una carga ganadera considerando el área forestada de 0,68-0,74 UG/ha mientras que los forestales. La especialización productiva ganadera es una de las variables que divide los grupos: el Gr.1 está especializado en terminación de ganado o engorde, el Gr. 2 se especializa en cría y ciclo completo con alta proporción de tierras arrendadas, el Gr. 3 se especializa en ciclo completo y el Gr.4 en la cría. Un 64% de los establecimientos del Gr. 6 no poseen ganado propio, teniendo solo ganado de terceras personas.

En Tabla 8 se presentan las principales características en trabajo contratado, educación y organización legal. Los ganaderos contratan mayor cantidad de mano de obra que los forestales. La residencia en el predio es de 24-34% y la gran mayoría son de propiedad unipersonal. Por otro lado los forestadores tienen una residencia nula o muy baja, contrata menos mano de obra en el predio pero mayor contratación de servicios.

### Descripción de los grupos

La zona Sureste concentra el 42% del total de los predios analizados, mientras que el Litoral el 27% (Tabla 10). Tomando en cuenta los grupos ganaderos (1 al 4), el Grupo 2, es el más numeroso en todas las zonas, seguido por el Grupo 4.

Tabla 10. Distribución de los grupos por Zonas

Zonas Grupos	Litoral <sup>abc</sup>	Norte <sup>a</sup>	Centro	Sureste <sup>b</sup>	Resto <sup>c</sup>	Total
1	18	7	15	36	9	85
2	67	26	48	105	31	277
3	24	19	10	51	11	115
4	36	14	18	85	32	185
5	18	20	9	63	8	118
6	63	29	8	37	3	140
7	12	23	10	40	14	99
Total	238	138	118	417	108	1.019

Nota: Valores que no comparten letra son significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ), test Kruskal-Wallis para múltiples comparaciones.

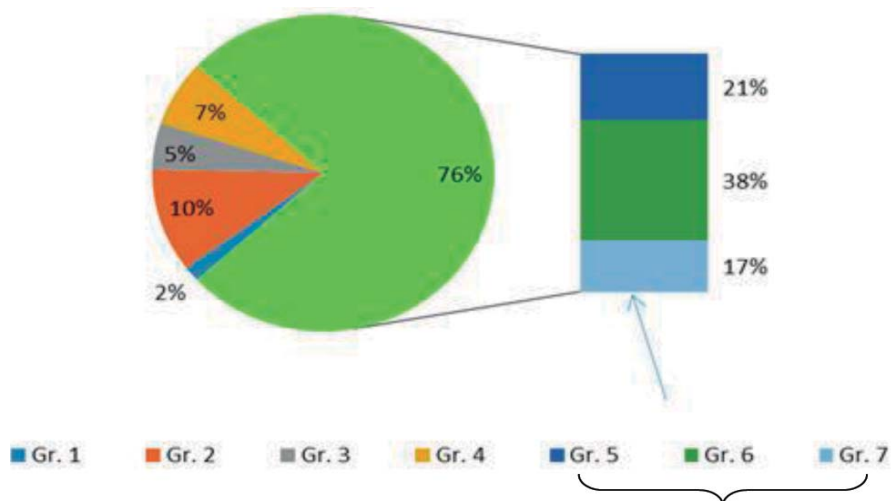
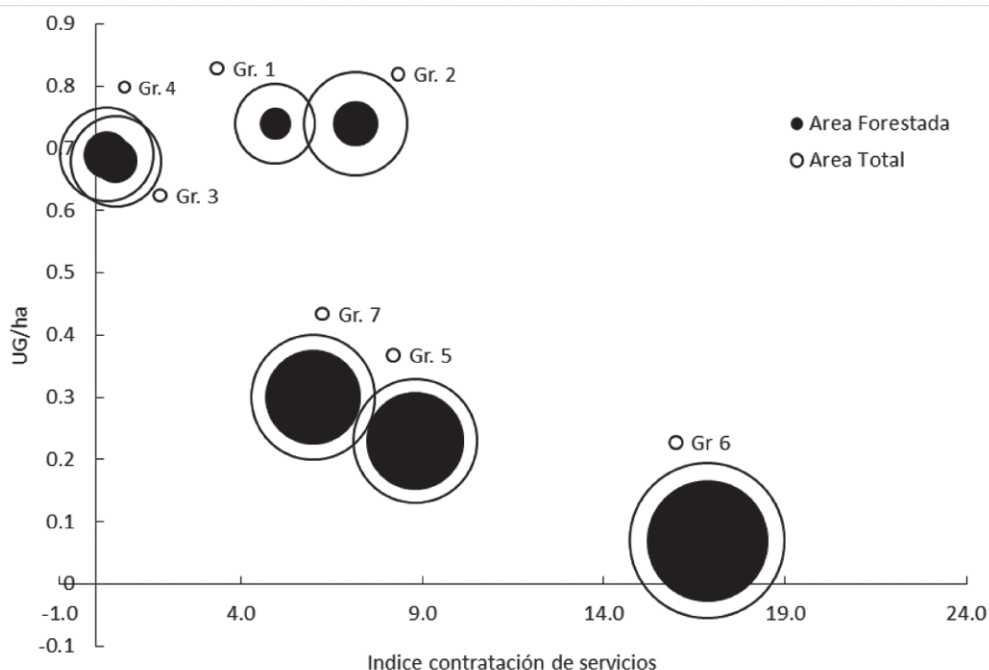


Figura 4. Área forestada



**Figura 5.** Relación entre la intensidad ganadera y la intensidad de contratación de mano de obra externa.

Los forestadores (grupos 5-7) detentan el 76% del total de área forestada, mientras que los ganaderos (grupos 1-4) poseen el 83 % de las unidades ganaderas en el 44% de la superficie involucrada en el estudio (1.365.400 ha).

Una relación que ayuda a agrupar es la relación entre la carga ganadera (UG/ha) y el Índice de contratación de servicios, como vemos en la Figura 5 los ganaderos presentan menor índice de contratación externa y mayor carga por superficie. Los grupos más alejados del eje son los más intensivos y los más cercanos al origen los más extensivos en el uso de los recursos ganadería y servicios.

### **Grupo 1. Ganaderos Invernadores medianos, que trabajan tierra propia, forestadores de baja intensidad**

Este es el grupo más pequeño ( $n=85$ , 8% del total), en cuyos establecimientos se realiza la terminación de ganado. La actividad es ocupada un 87 % en tierra de propiedad; está compuesto por predios ganaderos de extensión mediana, en promedio de 565 ha en propiedad y 744 ha si se adiciona el área arrendada. La superficie dedicada al pastoreo ( $\bar{X}=491$  ha)

representa el 71%; la producción de alimentos para la ganadería se basa en la producción de pasto en campo natural ( $\bar{X}=322$  ha), siendo el grupo con mayor superficie relativa de mejoramientos forrajeros ( $\bar{X}=23\%$ ). Si bien se registra alto valor de animales por área ganadera (0,94 UG/ha); esta pasa a valores cercanos al promedio nacional si incorporamos el área forestada (0,74 UG/ha). La mayoría son empresas unipersonales (59%), el resto de las unidades son sociedades (38%).

El promedio de área forestada es de 114 ha lo que representa el 17% del total de área, con un valor medio de 60 ha y valor más frecuente o moda de 30 ha. Esto incluiría forestaciones con el objetivo de brindar servicios a la ganadería y como segundo objetivo tener la forestación como una reserva de capital. El manejo de los bosques es extensivo, lo que se deduce del bajo valor de los servicios de poda y raleo contratado. A la cosecha esta madera tendría como destino la venta para leña, bioenergía o picado. La actividad forestal no está jerarquizada como actividad económica; solo el 20 de los casos considera que es un ingreso en el predio. La mayoría de los establecimien-

tos están en el SE (42%) y Litoral Oeste (21%).

### **Gr. 2 Ganaderos arrendatarios**

Este grupo está integrado por 277 casos (27% del total), son ganaderos de mediana importantes extensiones (1.221 ha) con alta proporción arrendada (23%) que se dedica a la cría o ciclo completo. Este grupo podría basar su estrategia en forestar en contratos con empresas integradas, obteniendo acceso a determinada calidad de material genético y eventualmente accediendo a pastoreo en áreas forestadas de estas empresas. Es un grupo intensivo en la contratación de Mano de obra directa (5 personas por unidad) y la contratación indirecta: el Índice de contratación de servicios es el más alto de los ganaderos (7); estos valores asociados a la ganadería. El objetivo del área forestada posiblemente sea el de prestar servicio a la ganadería. La productividad ganadera medida como la carga ganadera es alta: 0,93 UG/ha considerado área ganadera y 0,74 UG/ha si se incorpora el área forestada, al igual que el Grupo 1, si bien posee menor proporción de área mejorada (16%).

### **Grupo 3. Ganaderos de Ciclo Completo con alta proporción forestada**

Este grupo está compuesto por 115 Unidades, está compuesto por ganaderos de importantes extensiones (1.023 ha) especializados en el ciclo completo como primera actividad y en un 52 % de los casos en la producción ovina. El área con mejoramientos es 8% por lo que el manejo es más extensivo que en el caso de Grupo 1 y Grupo 2.

Es el grupo que más proporción del área está forestada (25%), emplean 5 personas por establecimiento y presentan muy bajo índice de contratación de servicios (0.3). La organización es la de empresas unipersonales (76%). La carga ganadera es de 1,1 UG/ha con baja proporción de mejoramientos (8%); sin embargo al incorporar el área forestada este valor pasa a ser 0,69 UG/ha, valores más ajustados a los recursos forrajeros presentados. Es el grupo que presenta el

valor de residencia en el predio más alto (34%).

### **Grupo 4. Ganaderos extensivos Criadores con alta proporción forestada**

Este grupo de 185 unidades son ganaderos de tamaño mediano a grandes superficies (945 ha), especializados en la cría vacuna, con un 24 % de la superficie forestada. En un 32 % de los predios, localizados en su mayoría en el SE del país, se declara que parte del ganado se pastorea bajo montes forestales. A pesar de ser el grupo ganadero con menor proporción en mejoramientos (6%), presenta la carga ganadera más alta (1,24 UG/ha), lo que pasa a ser 0,68 UG/ha, al incorporar el área forestada, por lo que se puede decir que los montes tienen un rol importante en la ganadería, no solo para abrigo sino para pastoreo bajo dosel. La contratación de mano de obra es de 5 personas/1.000 ha en propiedad, con bajo valor de contratación de servicios (1).

### **Grupo 5. Predios Forestales medianos a grandes que integran la ganadería en sus montes**

Este grupo representa el 12% de los predios (118 unidades); comprende establecimientos productivos medianos a grandes (1.776 ha), destinando un 30% del área a la ganadería. Los establecimientos están localizados principalmente en zona SE (53%) y zona Norte (17%). La gran mayoría de los establecimientos son sociedades (72%) y solo 22% son empresas unipersonales.

La ganadería que es una actividad secundaria, tiene una carga ganadera de 0,96 UG/ha considerando solo área ganadera y 0,23 UG/ha considerando área forestada y ganadera; un 76 % de las unidades declara que pastorea ganado bajo sus montes. Es una ganadería extensiva ya que solo un 2% del área posee mejoramientos. El pastoreo se realiza entonces bajo monte, en áreas de cortafuegos y áreas ganaderas. El índice de contratación de servicios es alto (9) lo que revela que la forestación es medianamente intensiva.

### **Grupo 6. Grandes Forestadores integrados verticalmente que brindan área a pastoreantes**

Este grupo son netamente forestadores, no son ganaderos. La característica distintiva es la ocupación de grandes extensiones en propiedad (2.793 ha), propiedad en la forma de sociedades anónimas. La mayoría de las unidades (45%) están en el OE del país, zona donde se localiza las industrias de pulpa. Este grupo posee el 39% de toda el área forestada de la población. A pesar que la actividad ganadera es considerada como actividad secundaria en un 21%, el 95% de los censados pastorea ganado en los montes. La carga ganadera es de 0,21 UG/ha y 0,07UG/ha para área ganadera y área ganadera y forestal, respectivamente.

El índice de contratación de servicios es el más elevado (17), demandando tareas de especialización forestal intensivas de mano de obra como poda en un 30% de los casos, cosecha en un 22% de los casos y servicios de plantación y aplicaciones químicas en prácticamente todos los casos (98% en los dos servicios). Estos predios por lo tanto son demandantes intensivos de mano de obra externa. La mayoría posee Ecualepto, la superficie de Pino está concentrado en 2 predios que poseen 25.000 ha de esta especie.

### **Grupo 7. Productores y empresas forestales extensivos que realizan cría vacuna**

Este grupo está compuesto por unidades de importante tamaño (1.795 ha) con la actividad forestal como principal actividad (89%). La actividad ovina está presente en este grupo, representa un ingreso importante (11%) y casi un tercio (0,27) de las unidades ganaderas son ovinas. Todos los predios censados están especializados en la cría vacuna, siendo esta actividad la segunda fuente de ingresos en un 67 % de los casos. La propiedad se divide en un 48% en sociedades y 40% en propietarios unipersonales. Este grupo es el que tiene la mayor carga ganadera entre los forestadores (0,3 UG/ha) y el de menor índice de contratación de servicios (6), principal-

mente de servicios de plantación. Son unidades de manejo forestal extensivo tanto en la actividad forestal como ganadera. Este grupo posiblemente esté compuesto por inversores y productores individuales en donde la actividad forestal sea una reserva de capital, con otras fuentes de ingreso; es el grupo que menor proporción declara la actividad como fuente de ingreso principal (66%).

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

Este análisis permitió entender mejor e identificar los grupos de productores que combinan ambas actividades en el Uruguay. La metodología de cluster indica que existen diferencias basadas en el tipo de propiedad, el tamaño, la intensidad de mano de obra y la especialización productiva. Algunos de estos grupos tienen un enfoque más tradicional volcado hacia la ganadería. En un amplio espectro de situaciones, tenemos ganaderos que incorporan la forestación como una actividad productiva con un objetivo comercial. Por otro lado empresas integradas verticalmente (en proyectos industriales o en comercialización) en donde la proporción forestada es muy alta pero que igualmente destinan parte de sus tierras a albergar ganado vacuno y ovino.

El CGA2011 da una base de información importante, para el agrupamiento obtenido, lo que dio la oportunidad de analizar un amplio abanico de combinaciones en el agro uruguayo. Los casos ganaderos que conforman la población con forestación son muy pocos en la base nacional, sólo 662 casos sobre un universo de más de 16.000 explotaciones ganaderas con más de 100 ha (DIEA, 2014). Si bien la restricción de tener al menos 5% del área forestada es alta, la proporción de predios ganaderos con forestación es baja (4%) y esto se ha mantenido relativamente estable según las bases de Dicose.

La variable tamaño de propiedad y tenencia puede llevar a agrupar en un mismo grupo productores muy diferentes. Por ejemplo dentro de los grupos el área forestada mostró altos valores de desviación reuniendo en un mismo grupo predios con muy diferente proporción de forestación.

Si bien la información del Censo no nos permite saber las motivaciones de los productores ganaderos para forestar, se puede inferir de los resultados que Grupo 3 y Grupo 4 tendrían motivaciones productivas financieras mientras que los Grupo 1 y 2 tendrían una motivación de cumplir con objetivos de servicio a la ganadería.

Tanto Grupo 3 como Grupo 4 son predios especializados en la cría y ciclo completo, respectivamente, con baja proporción de mejoramientos, alta proporción de forestación con respecto a Grupos 1 y 2 y como consecuencia mayor proporción de ganado pastoreando en los montes. Por los índices de contratación y mano de obra empleada, serían predios manejados de manera extensiva. Los valores de alta carga ganadera, pasan a ser moderados cuando se adiciona el área forestada, por lo que los montes podría cumplir también un rol de refugio, y amortiguador además de área de pastoreo.

Los grupos forestales (Grupos 5, 6 y 7) representan cierta diversidad en la estructura de los establecimientos, mientras el Grupo 6 son las grandes empresas integradas, donde la ganadería solo se realiza como servicio a productores, el alto valor del Índice de contratación devela la intensividad de recursos y mano de obra externa, a pesar del destino de la madera, principalmente picado. El Grupo 7 son las unidades de forestación más extensiva, conformada principalmente por inversores.

Estos sistemas silvopastoriles serían los que son aceptados por los productores ya que las plantaciones forestales en grandes áreas fueron introducidas hace más de 30 años en el Uruguay. En la década de los 90, el papel del estado fue trascendente para que grandes empresas forestales se instalaran en el Uruguay. Las empresas forestales pueden abastecerse de madera de predios ganaderos.

El rol de las políticas públicas y privadas a través de incentivos como subsidios a las plantaciones en predios ganaderos, no será indiferente a la evolución del área forestada por fuera de las grandes empresas. Esto puede cambiar la visión excluyente de la forestación por

parte del sector ganadero y apoyar a diversificar a medianos productores.

Existe un potencial para que nuevos productores ganaderos puedan incrementar la base forestal; sin embargo esta integración requiere la implementación de políticas específicas hacia los grupos ganaderos. También se requiere de una evaluación de ambos sistemas integrados a lo largo del tiempo, por ejemplo la conversión de campo natural en plantaciones forestales abre el debate en ese sentido. Dada la expansión de la capacidad industrial actual y potencial en el Uruguay, existe una oportunidad para que esta combinación de rubros exista de manera más amplia en el territorio.

La historia de la forestación reciente en el Uruguay da la posibilidad por un lado de analizar en el mismo territorio, el caso de predios forestales integrados verticalmente con proyectos industriales integrados o no integrados, y por otro lado predios de productores ganaderos, que han incluido forestación. El tipo de información relevado en el Censo no nos permite agrupar los objetivos de la forestación en el predio o las actitudes hacia la forestación, sin embargo, en base a tres grupo de variables: la proporción forestada, la actividad declarada como principal en combinación con el índice de contratación de servicios y mano de obra, nos permite delinear rasgos sobre la función de los montes en la estructura productiva. Los grupos evidencian tres tendencias: los montes brindan servicio a la ganadería, la producción de madera es secundaria y es probable que no exista un plan de manejo y cosecha, sería la combinación primaria entre ganadería y forestación

Si bien el agrupamiento no es un concepto estable a lo largo del tiempo, las características de los grupos y su evolución ayudan a comprender mejor la ocupación del territorio y la acción de esos grupos en el espacio, lo que permite aplicar políticas específicas para los mismos. En Uruguay se ha ido incorporando la forestación a partir de acciones de fomento de las empresas y políticas públicas como planes de forestación con objetivos de servicio a la ganadería.

El agrupamiento obtenido, es el reflejo de la estructura productiva e intenta

explicar cómo se puede integrar las dos producciones en base a las variables relevadas en el Censo 2011 y variables síntesis construidas. Existiría ausencia de situaciones intermedias con respecto a las proporciones de forestación y ganadería, ya que lo que se obtiene serían las dos puntas de combinación de producciones.

Si bien en la actualidad, los mercados de la madera en Uruguay son más fuertes que antaño y con buenas perspectivas, el productor ganadero precisa más información, sobre precios, modalidades de comercialización, los beneficios y los tradeoffs o intercambios con la ganadería, así como ayuda técnica para desarrollar los sistemas silvopastoriles. Se precisa por un lado más trabajo de investigación y extensión que evalúe la sustentabilidad de estos sistemas, así como la identificación y recomendación de las mejores prácticas de manejo en estos sistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbier, E.B., Burgess, J.C., Grainger, A., 2010. The forest transition: Towards a more comprehensive theoretical framework. *Land use policy* 27, 98–107. doi:10.1016/j.landusepol.2009.02.001
- Boon, T.E., Meilby, H., Thorsen, J.B., 2004. An Empirically Based Typology of Private Forest Owners in Denmark: Improving Communication Between Authorities and Owners. *Scand. J. For. Res.* 45–55.
- Carrquiry, R., Morales, H., De Hegedus, P., Tourrand, J., 2012. Heterogeneity and vulnerability of livestock in forest plantations of Uruguay, in: *International Farming Systems Association (Ed.), X International Farming Systems*. Aarhus University, Aarhus. doi:http://ifsa.boku.ac.at/cms
- Crempien, C., 2008. Antecedentes técnicos y metodología básica para utilizar en presupuestación en establecimientos ganaderos. *Bovinos para carne y ovinos*, 2° Ed. corr. ed. FUCREA, Montevideo.
- DIEA, 2014. Censo General Agropecuario 2011. Resultados definitivos. Montevideo.
- Ferreira, G., 1997. An evolutionary approach to farming decision making on extensive rangelands. University of Edinburgh.
- Franco, J., 1998. Clasificación de observaciones utilizando variables discretas y continuas simultáneamente. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Gaspar, P., Mesías, F.J., Escribano, M., Rodríguez de Ledesma, A., Pulido, F., 2007. Economic and management characterization of dehesa farms: implications for their sustainability. *Agrofor. Syst.* 71, 151–162. doi:10.1007/s10457-007-9081-6
- Gramann, J., Marty, T., Kurtz, W., 1985. A logistic analysis of the effects of beliefs and past experience on management plans for non-industrial private forests. *J. Environ. Manage.* 20, 177–185.
- Ingemarson, F., Lindhagen, A., Eriksson, L., 2006. A typology of small-scale private forest owners in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 21, 249–259. doi:10.1080/02827580600662256
- INIA, 2012. Revisión y análisis de las bases históricas y científicas del uso de la equivalencia ovino:bovino 28.
- Jennings, S.M., Van Putten, I.E., 2006. Typology of Non-industrial Private Forest Owners in Tasmania. *Small-scale For.* 5, 37–56. doi:10.1007/s11842-006-0003-7
- MGAP, 2013a. Anuario Estadístico Agropecuario 2013, Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Montevideo.
- MGAP, 2013b. Bosques plantados registrados [WWW Document]. URL <http://www2.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,dgf,dgf-recurso-forestal,O,es,0>, (accessed 9.29.14).
- MGAP, 2003. La actividad forestal a través del Censo Agropecuario.
- MGAP, 2015. Regiones agropecuarias del Uruguay.
- MGAP, 2001. Normas sobre el control de existencias, movimientos y propiedad de semovientes y frutos del país., *Legislación Sanitaria Animal Tomo I*. Retrieved June 26, 2015 from [http://www.mgap.gub.uy/dgsg/legislacion/Cap4\\_Normas\\_Control.pdf](http://www.mgap.gub.uy/dgsg/legislacion/Cap4_Normas_Control.pdf), Montevideo.
- Mondelli, M., Picasso, V., 2001. Trayectorias

- Tecnológicas en la Ganadería Uruguay: Un enfoque Evolucionista. Universidad de la República. doi:10.13140/2.1.4891.9367
- Novais, A., Canadas, M.J., 2010. Understanding the management logic of private forest owners: A new approach. *For. Policy Econ.* 12, 173–180. doi:10.1016/j.forpol.2009.09.010
- Nuberg, I., George, B., Reid, R., 2009. Agroforestry for natural resource management. CSIRO, Collingwood.
- Prieto, V., Wins, R., 2007. Comparación de diferentes agrupamientos generados utilizando técnicas multivariadas y distintos tipos de variables. Universidad de la República.
- Rabe-Hesketch, S., Everitt, B., 2004. *Handbook of Statistical Analysis using Stata*, Third. ed. Chapman & Hall/CRC, NY.
- Richter, J., Lewis, B., 2007. Reaching out to family forest owners: An examination of information behaviors by attitudinal type, in: Miner, C., Jacobs, R., Dykstra, D., Bittner, B. (Eds.), *International Conference on Transfer of Forest Science Knowledge and Technology*. General Technical Report PNW-GTR-726. USDA Forest Service, Oregon, pp. 209–217.
- Saravia, A., César, D., Montes, E., Taranto, V., Pereira, M., 2011. Manejo del rodeo de cría sobre campo natural. Instituto Plan Agropecuario, Montevideo.
- Urquhart, J., Courtney, P., 2011. Seeing the owner behind the trees: A typology of small-scale private woodland owners in England. *For. Policy Econ.* 13, 535–544. doi:10.1016/j.forpol.2011.05.010
- Ward, 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 236–244.

Alconada Magliano Margarita<sup>(1)</sup>,  
Carricaburu Facundo

<sup>(1)</sup> Departamento de Ambiente y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

## Capítulo 3

# Estudio de la relación SUELO - AGUA en la producción de madera de *Eucalyptus globulus* en silvopastoreo: Caso de estudio

### RESUMEN

Este es un estudio interpretativo del rol del paisaje, su relación con el suelo y la productividad de madera a partir de un estudio de caso en el Departamento de Maldonado. Se buscó definir las condiciones de suelo y la vinculación con elementos como: agua superficial y subterránea, relieve, posición topográfica y éstos con la productividad de *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*. El trabajo de campo consistió en la caracterización de los suelos en 31 parcelas permanentes. Se realizaron descripciones morfológicas, analíticas y de paisaje, complementados con análisis de laboratorio de suelo y agua. Los resultados permiten reconocer zonas de recarga y descarga de flujos de agua subterránea. En las zonas de recarga, el flujo de agua que infiltra es descendente y es favorecido si las pendientes del terreno permiten su permanencia en superficie y si el perfil edáfico tiene de moderada a elevada permeabilidad, en estos casos no hay hidromorfismo. Si bien los suelos de esas zonas, presentan muy escaso desarrollo y son someros, pueden presentar muy alta productividad, general-

mente asociado a altos contenidos de materia orgánica y elevada alteración de los materiales geológicos. Sin embargo, debido a la baja retención hídrica son más dependientes de las precipitaciones locales; también pueden acumularse excesos hídricos por impedancias mecánicas. Son tres las variables que principalmente inciden en la producción vegetal: grado de hidromorfismo, altura topográfica regional e incidencia de flujos locales de zonas más altas y/o de flujos de mayor recorrido de vías de escurrimientos. Se aprecian efectos locales y regionales que inciden en la productividad la cual está fuertemente condicionada por el elevado hidromorfismo, pero en posiciones más elevadas a nivel regional podrían generar microclimas que modifican la magnitud del ése efecto sobre la vegetación. Otras condiciones extraedáficas también definen la aptitud productiva del área de estudio, destacándose condiciones microclimáticas (exposición, temperaturas, heladas), aspectos a ser considerados en futuros trabajos.

**Palabras clave:** paisaje, forestación, productividad.



## I INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

### I.1 Importancia del área de estudio

Diferentes criterios han sido considerados a fin de definir la aptitud productiva de ambientes y clasificar los suelos. Para el caso de Uruguay se consideran los grupos CONEAT (MGAP, 1994), la clasificación de suelos a escala 1:000.000 (Altamirano *et al.*, 1976) y los cambios propuestos por Durán (Durán *et al.*, 1999; Durán *et al.*, 2006, Durán *et al.*, 2007a, b).

Los **grupos CONEAT** son áreas homogéneas, a la escala de trabajo utilizada, en relación a su capacidad productiva en términos de lana, carne bovina y ovina, considerando a las pasturas naturales sin mejoramiento (MGAP, 1994; Prieto González, 2011). Se expresa por un índice relativo a la capacidad promedio del país, a la que corresponde el índice 100. De un total de 13 grupos las zonas 2, 7, 8 y 9 son identificadas como de *prioridad forestal*, Ley Forestal N° 15.939/88, y Decreto 191/06 (URUGUAY- MGAP- DGRNR, 2006 en Prieto González, 2011).

La zona 2, que es donde se ubican los ensayos del presente proyecto (subgrupos 2.11a, 2.12 y 2.21), representa 41,8% del total de superficie con prioridad forestal, y se caracteriza por la presencia de suelos tanto superficiales como profundos, de texturas medias, con plantaciones forestales comerciales principalmente de *Eucalyptus globulus*. Cerca de un 80 % de las plantaciones comerciales se desarrollan en suelos de prioridad forestal donde dicha especie es la que prevalece (CIDE, 1967; URUGUAY-MGAP- DGRNR, 2006 en Prieto González, 2011).

### I.2 Suelos

El área de estudio se ubica en ámbitos de los grandes grupos de los **Brunosoles** (orden Melánico) y asociados a estos **Litosoles**. Según criterio clasificatorio Soil Taxonomy, dicha área se ubica en ambientes principalmente del orden Molisol, de los subgrupos *Argiudol páquico*, *Argiudol típico* y *Hapludol típico*. En vías de escurrimiento se indican sue-

los: *Endoaquol fluvacuénticos y típicos* (Durán *et al.*, 2005, 2007a, b).

Específicamente para la región serrana, zonas con relieve de colinas y lomadas, sobre materiales principalmente metamórficos Durán *et al.* (1999) describe suelos del orden Molisol **Argiudoles y Hapludoles**, destacándose en las áreas de mayor relieve el **Hapludol lítico** de escasa profundidad, junto a suelos de los órdenes Entisol e Inceptisol (**Udorthents líticos** y *algunos Eutrudepts y Dystrudepts*). Asimismo, se incluye en colinas suaves y lomadas, al orden Alfisol (**Hapludalfs**). *Algunos de estos suelos presentan* horizontes subsuperficiales de color rojizo, horizontes argílicos muy desarrollado, principalmente **Argiudoles típicos, Hapludalfs típicos** y *en ambientes bajos* **Argialboles y Natraqualfs**.

### I.3 Geología e hidrología

El establecimiento en estudio dentro del mapa geológico del Uruguay, se emplacea en la Formación del Puma y Carapé dominada por rocas metamórficas, principalmente **gneisses y mica-esquistos**, y rocas sedimentarias, *dolomitas y calizas*, que se asocian con **antibolitas** (ígneas), **cuarcitas y cuarcitas ferruginosas** (sedimentarias).

Los gneisses que dominan, pueden presentar fenómenos de muy elevado metamorfismo, con remoción y recristalización. Son rocas de grano fino con cuarzo, oligoclasas (feldespatos y plagioclasas) como minerales dominantes y micas como accesorios (Durán *et al.*, 2007a y b). La composición es semejante a la del granito, pero caracterizando al gneiss por una orientación definida en bandas, con capas alternas de minerales claros y oscuros, a veces con concreciones feldespáticas distribuidas con regularidad (gneiss ocelado). Esto se aprecia en muchos sitios del presente estudio donde se observan en los *gneiss fenómenos de removilización cuarzo feldespática* que cristalizan en vetas (Iberpapel, 2012).

En la Figura 1 se presenta la imagen de las *Cuencas hidrológicas* donde se señala la ubicación del sitio de estudio en la Cuenca Atlántica; en proximidades



**Figura 1.** Sector de estudio en el mapa de cuencas de la RO del Uruguay Fuente: [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/bh\\_cuencas/ref\\_cuencas.htm](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/bh_cuencas/ref_cuencas.htm)

de la laguna del Sauce y Arroyo Maldonado. Se aprecia la *incidencia de importantes cursos de agua* que contribuye a definir un *drenaje* principalmente de *moderadamente pobre hasta pobre*, con algunos sectores limitados de moderado a buen drenaje (Molfino y Califra, 2004 en <http://www.cebra.com.uy/renare/mapa/cartas-tematicas/>).

#### I.4 Exigencias edáficas de *Eucalyptus*

Las *propiedades edáficas* que en general la bibliografía menciona como determinante del crecimiento de especies vegetales son: *profundidad efectiva, rocosidad, textura, permeabilidad, retención hídrica, condiciones de drenaje, pH, salinidad, alcalinidad y fertilidad química* (materia orgánica, saturación en bases, fósforo, potasio, calcio). Específicamente para definir un sitio forestal Prichett (1986) recomienda establecer aproximadamente tres o cuatro propiedades del suelo que mejor se vinculen con la pro-

ductividad local. Prieto González (2011) para *Eucalyptus globulus*, elabora un índice de sitio a partir de cuatro variables: *drenaje, accesibilidad del terreno para plantación y cosecha, heladas, oxígeno disponible y agua disponible*, utilizando los criterios de Terzaghi *et al.* (1988).

Prichett (1986), señala que los *Eucalyptus en general* pueden crecer en suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad natural. Sin embargo, el desarrollo satisfactorio se produce cuando el suelo presenta al menos 50 cm de suelo sin síntomas de hidromorfismo. En el caso del *Eucalyptus globulus*, que como se indicó es uno de los cultivos más empleados en forestaciones del Uruguay, pueden verse sensiblemente afectados en *suelos poco desarrollados* y en aquellos con *drenaje imperfecto*, y por el contrario favorecidos en *suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, texturas medias y bien drenados* (Brussa, 1994 en Prieto González, 2011).

Respecto al *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*, que es la especie que prevalece en los suelos grupo 2 y dominante en el área del presente proyecto, se adapta a una gran variedad de suelos con buen drenaje, desde arenas costeras a rocosos de serranías, donde presenta muy buen desarrollo vegetal, siendo las principales limitantes en el Uruguay las de tipo climático: heladas, sequías prolongadas, excesivo calor del verano y temperatura promedio anual (Brussa, 1994; Ravera, 2002 en Prieto González, 2011).

### I.5 Objetivo

En el presente estudio se buscó definir las condiciones de suelo en el área de estudio y como se vinculan con otros elementos del paisaje, agua superficial y

subterránea, relieve, posición topográfica y estos con la productividad de la vegetación herbácea y arbustiva de *Eucalyptus globulus* spp. *globulus* en silvopastoreo. Se busca establecer las limitantes que condicionan el crecimiento de la vegetación y posibles efectos de esta en el ambiente local y general.

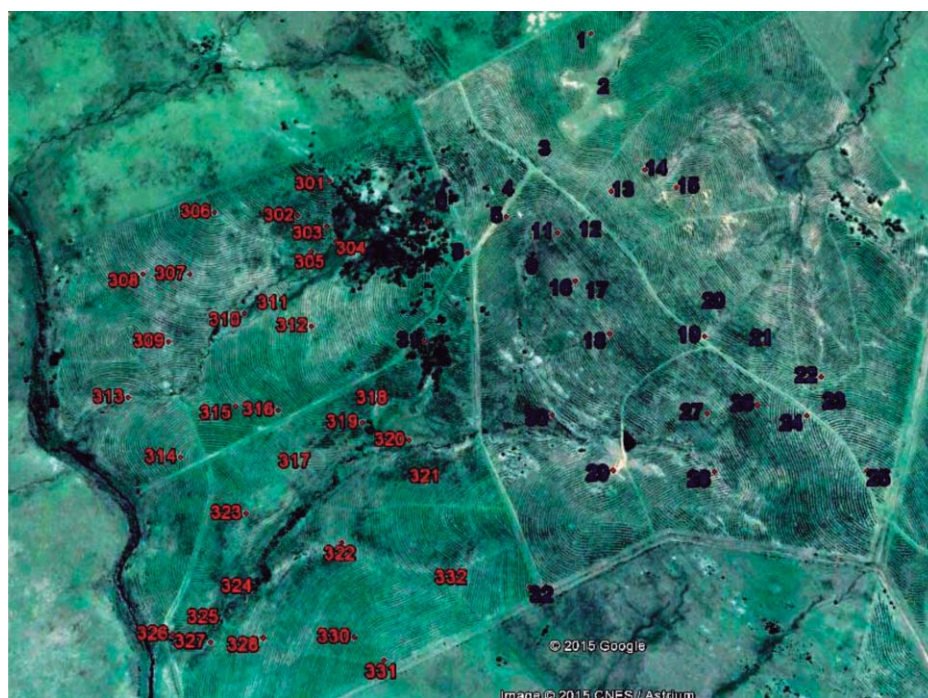
## II MATERIALES Y MÉTODOS

### II.1 Tarea de gabinete inicial

**Análisis de la información ambiental disponible** en los sitios a estudiar en relación al suelo, agua superficial y subterránea, cartografía disponible, estableciendo las particularidades de dichos sitios para la actividad productiva propuesta *Eucalyptus globulus* en silvopas-

**Tabla 1.** Distribución de las Parcelas de monitoreo en dos padrones según agrupamiento de suelos CONEAT (MGAP-CONEAT, 1979).

Grupos Suelos	Padrón 22300	Padrón 22301
2.21: En sierras no rocosas de relieve ondulado y ondulado fuerte, con afloramientos en general < 5%, y pendientes entre 5 y 15%	306, 308, 309, 312, 314, 315, 317, 318, 320, 322, 323, 325, 328, 330, 332	3, 4, 32
2.12: En un relieve de colinas, con interfluvios convexos y pendientes entre 6 y 12%		1, 5, 13, 16, 17, 18, 20, 23, 25, 27, 28, 29, 30



**Figura 2.** Ubicación de parcelas en imagen Google, en plano.

toreo en Establecimiento Doña Sara, ubicado en el Departamento de Maldonado (34°41'12.33"S; 55° 08'20.89"O).

**Información sobre suelos disponible** en las 31 parcelas. Se describen grupos y padrones que para el área de estudio se presentan en Tabla 1. Se aprecia que en el padrón 22300 prevalece el grupo 2.21, mientras que en el padrón 22301 lo hace el grupo 2.12. El total de parcelas de estudio en el grupo 2.21 es de 17, y en el grupo 2.12, 13 parcelas (total 31 parcelas).

En la Figura 2 se muestra la ubicación de dichos puntos experimentales en una imagen Google en plano.

## II.2 Ubicación de parcelas en unidades cartográficas de estudios previos

En estudio realizado para definir la aptitud forestal en el Establecimiento Doña Sara se describen cuatro unidades cartográficas principales UA1 a UA4. En esta Figura 3, se presenta la superposición de dichas unidades en la imagen satelital de la Figura 2.

Las unidades U1 a U4, presentan diferente aptitud forestal según se indica en informe (Iberpapel, 2012), las unidades UA2 y UA3 muy aptas para *Eucalyptus globulus*, UA1, apta y UA4 no apta. En la Tabla 2, se presenta la distribución de las parcelas experimentales en las unidades UA1 a UA4, y se indican las principales limitantes que inciden en la aptitud de las mismas. Se destaca que con variaciones menores, la fertilidad química potencial en general es baja, bajo contenido de bases, materia orgánica media, N moderado y P muy bajo.

## II.3 Estudios en suelos realizados en el presente estudio

En cada parcela (total 31) se efectuó una caracterización de los suelos del sitio de estudio. Se realizaron descripciones morfológicas, analíticas y de paisaje.

**A campo.** Se identifica en cada sitio secuencia de horizontes, color, textura al tacto, pedregosidad, rocosidad, calcáreo con HCl, consistencia, estructura,

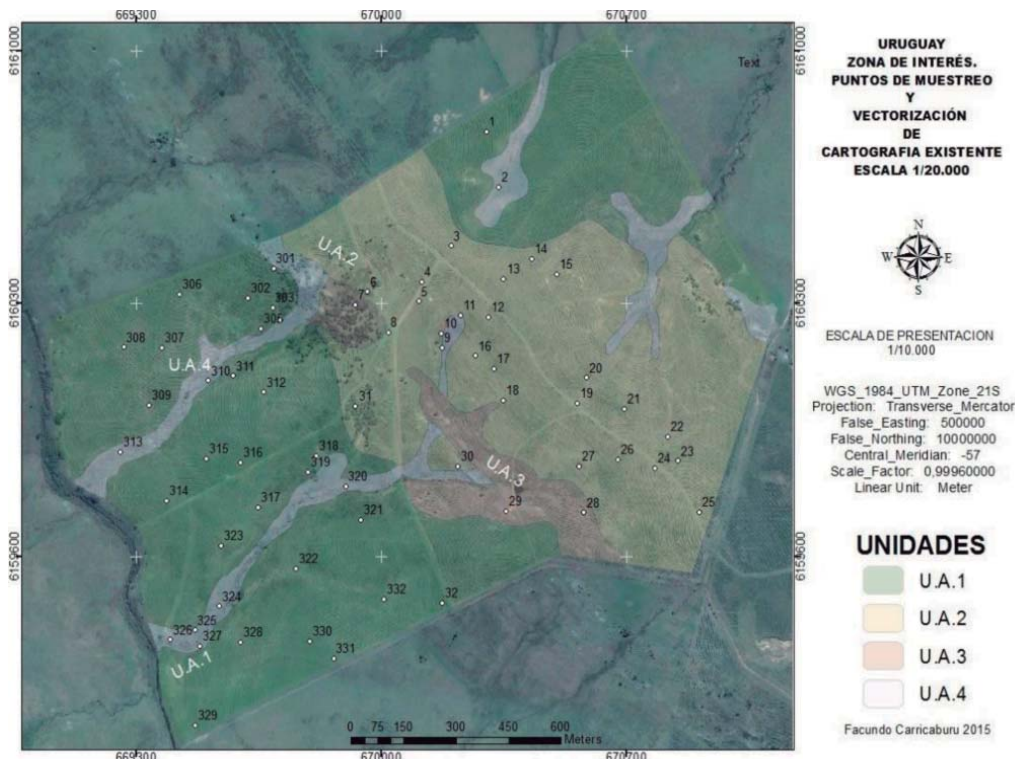


Figura 3. Unidades cartográficas U1 a U4 sobre imagen satelital de Figura 2

**Tabla 2.** Ubicación de parcelas estudiadas en el Establecimiento Doña Sara, en las Unidades cartográficas de suelos (Iberpapel, 2012).

Unidades	Limitante principal	Parcelas incluidas
UA1	Horizontes B con <i>alto contenido de arcilla</i> entre 30-40 cm de profundidad a 50 a 70 cm, y horizonte BC con Na en algunos sitios por drenaje lento a impedido. Presencia de cárcavas por alta erodabilidad del suelo	<b>1, 32, 306, 308, 309, 312, 314, 315, 317, 322, 323, 328, 330, y 332</b>
UA2	Horizontes B con <i>alto contenido de arcilla</i> a partir de los 20-30 cm de profundidad que se asocia a drenaje lento a impedido pero favorecido por la presencia de gravas, gravillas y arenas	<b>3, 13, 4, 5, 16, 17, 18 (límite), 20, 23, 25, 27, 318 y 30</b> (límite con UA3 y UA4)
UA3	Secuencias de horizontes variables. Texturas arenosas en A y pendientes marcadas que limitan labores y favorecen la erosión del suelo	<b>28, 29</b>
UA4	Sitios bajos, cóncavos, vías de drenaje y cañadas. Las cárcavas se asocian a desagües naturales y erosión. Exceso de humedad parte del año, con concentración de fríos en los puntos mas bajos	<b>320, 325</b>

presencia de impedancias mecánicas, rasgos hidromórficos, vegetación asociada, cobertura, pendiente local, posición topográfica y altura topográfica. Se extraen muestras para análisis de laboratorio.

**Análisis de laboratorio en muestras de suelo.** Se analizan las siguientes variables en muestras seleccionadas por procedimientos estándares (Page et al., 1982): pH actual en suspensión suelo:agua (H<sub>2</sub>O) y pH potencial con cloruro de potasio (KCl) = 1:2,5; materia orgánica (M.O.) según Walkley Black; Nitrógeno (N) por Kjeldahl; Fósforo (P) por método Bray N°1. Cationes intercambiables, calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) con extracción de acetato de amonio 1N a pH 7. Cationes solubles, calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) en extracto de pasta saturada, cálculo de la Relación de Adsorción Sodio (RAS) a partir de estos, y Conductividad Eléctrica (CE) del extracto de saturación a 25 °C.

**Caracterización e Interpretaciones de los suelos estudiados.** Se estima la permeabilidad, escurrimiento, drenaje y retención hídrica a partir de propiedades del suelo (textura, rasgos hidromórficos, rocosidad) y del sitio (posición topográfica, pendiente). Se establecen limitantes, se clasifican taxonómicamente por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006), y se busca definir relaciones entre pro-

piedades edáficas, paisaje y rendimiento en madera.

#### II.4 Estudios en agua

Se mide a campo pH, temperatura y conductividad Eléctrica (CE) (Hanna Instrument). Siguiendo el criterio sobre el funcionamiento de los sistemas de flujos de agua subterránea de Toth (2000), se definió posible origen del agua observada en las parcelas de estudio y vías de escurrimiento cercanas.

#### II.5 Elaboración de Mapa de suelos

Se definen unidades cartográficas de suelo en el establecimiento en estudio considerando **tipos de suelos descritos** en cada una de las 31 parcelas estudias y efectuando su extrapolación a un área mayor donde suelos de igual tipo es posible se presenten. Para tal fin se consideró **imágenes satelitales procesadas en diferentes fechas** (previo a plantación en condición natural y con plantación) utilizando técnicas de fotolectura, fotoanálisis y fotointerpretación efectuando una identificación de patrones espectrales. Asimismo se consideran **mapa de curvas de nivel** y del **índice verde**. La información obtenida se vincula con la **productividad en ma-**

**dera.** Toda la información se integra en un **SIG** (sistema de información geográfica). Adicionalmente, se analizan y se corrobora lo obtenido con los *mapas pre-existentes* (mapas de suelo 1:1000.000, mapas de suelo Establecimiento Doña Sara, escala 1:20.000).

A continuación, se describe como se elaboró cada uno de los mapas indicados:

#### **Selección de imágenes satelitales.**

Las imágenes utilizadas para su procesamiento fueron de libre descarga en la web y provenientes de diferentes servidores:

- a) Imágenes de diferentes fechas y satélites (diferentes resoluciones)
- b) Imágenes de referencia para posteriores análisis se utiliza la proveniente del satélite CBERS-2 con fecha de captura 01/05/2016, utilizando la banda pancromática del sensor HRC con resolución espacial de 5m (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Las diferentes resoluciones, permite efectuar análisis comparativos del patrón de crecimiento de la vegetación, forma del relieve, etc.
- c) Imagen Sentinel 2<sup>a</sup> con fecha de captura 16/02/2016, utilizando las bandas espectrales 4 y 8 (rojo e infrarrojo cercano) con resolución espacial de 10 m <https://remotepixel.ca/projects/satellitesearch.html>, a fin de obtener el Índice Verde Normalizado (NDVI).

NDVI: se procesan las bandas Infrarrojo (B8) y la banda roja (B4) donde se obtiene el denominado Índice de diferencia normalizada de la vegetación (INDVI) el cual varía entre -1 y 1. Este índice tiene su fundamento en el comportamiento radiométrico de la vegetación. Una cubierta vegetal en buen estado sanitario y en activo crecimiento tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 0,6 y 0,7  $\mu\text{m}$ ), que es absorbida en gran parte por las hojas y el infrarrojo cercano (entre 0,7 y 1,1  $\mu\text{m}$ ) que se refleja, permitiendo detectar patrones de crecimiento vegetal. Al efectuar un seguimiento temporal es posible la zonificación de áreas para un posterior estudio en detalle.

- d) La imagen de alta resolución (60 cm de pixel) se descarga mediante el software SAS Planet, como bandas espectrales fusionadas en modo RGB o falso color natural (no se dispone de la fecha de captura). Esta se utilizó para georreferenciar imagen indicada en punto e).
- e) Se obtuvo desde el programa Google Earth una imagen sin georreferenciar mediante captura de pantalla y en escala de grises siendo georreferenciada utilizando la imagen descargada desde SAS Planet. Esta imagen corresponde a fecha previa a la plantación,

Todas las imágenes fueron utilizadas en el proceso de análisis de la información y ajuste de datos.

## **III RESULTADOS**

### **III.1 Suelos y agua**

Se agruparon las parcelas estudiadas (31) en 7 grupos en función del tipo de suelo (nivel de Subgrupo en Soil Taxonomy, 2006). Si bien cada grupo presenta características comunes dado que pertenecen a igual Subgrupo taxonómico, existen diferencias no sólo en algunas propiedades edáficas, sino también en los materiales originales, calidad de agua, posición topográfica local y regional, y vinculado a esto, clima local. Estos son elementos del paisaje que en diferente grado inciden en el *rendimiento de madera y productividad del pastizal*. Estos aspectos son analizados en puntos siguientes.

#### **III.1.1 Características generales**

Las parcelas estudiadas se ubican en un relieve general pronunciado, con sierras, colinas y lomadas, que contienen ambientes cóncavos, planos (zonas de interfluvio), bajos y concavidades, principalmente próximo a las vías de escurrimiento las cuales se presentan en variada magnitud y tipo.

Se ubican en diversas posiciones del paisaje local y regional, y sus suelos han evolucionado a partir de variados materiales geológicos (Bossi et al., 2014) con diferente grado de alteración, asociado a

la composición mineralógica y la forma en que participa el resto de los factores formadores del suelo (relieve e incidencia de flujos de agua superficial y subterránea, clima, biota y tiempo transcurrido desde que un material geológico comienza a alterarse).

Se presentan entonces **suelos con distinto grado de desarrollo** (horizontes), **profundidad** efectiva para el desarrollo de la vegetación, **fertilidad** química (nutrientes) y fertilidad física (drenaje).

### III.1.2 Drenaje

Es definido en diferentes escalas de paisaje, regional y local, su comprensión adquiere particular importancia al definir la aptitud de las tierras. El establecimiento estudiado se ubica en la *Cuenca Río de la Plata, vertiente Este*, próximo a la Laguna del Sauce A nivel de cuenca, el **drenaje general** es definido como moderadamente pobre hasta pobre, con algunos sectores limitados de moderado a buen drenaje (Figura 3, Molino y Califra, 2004).

El **drenaje** es la facilidad con que el agua se elimina del suelo, queda definido por condiciones del suelo en el paisaje local y general, y resulta de los siguientes componentes: i) **escurrimiento** (movimiento superficial del agua), ii) **permeabilidad** (movimiento vertical del agua que infiltra), iii) presencia o ausencia de **superficies freáticas ascendentes** (zona de descarga de flujos de agua subterránea) y/o iv) **acumulaciones de agua por impedancias mecánicas** que impiden la recarga del agua de lluvia (flujo descendente), y v) **evapotranspiración** (pérdida de agua del suelo desnudo y consumo de la vegetación).

En base a las **alturas de las parcelas estudiadas respecto al nivel del mar** que varían entre **60 y 122 m snm**, con fuertes pendientes y consecuentemente **escurrimientos** entre moderadamente rápidos a rápidos, podría estimarse «a priori» que a nivel establecimiento las condiciones de drenaje son buenas. Así, las parcelas presentan **pendientes** entre un mínimo de **1,5%** hasta máximos de **17%**, prevaleciendo las pendientes superiores a **5 %**. Sin embargo, en el **ámbito de cada parcela**, el **drenaje**

**local** varía desde excesivamente drenados a pobremente drenados a mal drenado, debido a la forma en que inciden los componentes que definen el drenaje (i a v). Respecto a las *pendientes*, se destaca que son en general de tipo compuestas (pendientes en diferentes direcciones).

A continuación se describen los **componentes del drenaje** en las parcelas estudiadas:

- i) El **escurrimiento local** debido a la posiciones de las parcelas en sectores más planos dentro de la pendiente general elevada determina que el escurrimiento disminuya y se favorezca la infiltración. En las parcelas el escurrimiento resultó entre moderado hasta lento.
- ii) La **permeabilidad** está dada por la secuencia de capas u horizontes que integran el perfil edáfico, y sus propiedades, principalmente textura, estructura, y pedregosidad. Estas propiedades resultan del material original de los suelos y su edafización (intensidad de los procesos formadores del suelo). Asimismo, la permeabilidad está condicionada por la presencia de algún impedimento mecánico, tal como compactaciones en alguna parte del perfil o contacto lítico (roca). Así, en algunas parcelas, aun presentando materiales edáficos permeables debido a texturas gruesas (elevada proporción de arena) o pedregosidad u horizontes superficiales (A) muy ricos en materia orgánica, el agua de lluvia que infiltra se restringe al sector definido como profundidad efectiva, que es hasta donde las raíces de las plantas efectivamente se desarrollan. Por ejemplo, la presencia de materiales rocosos en marcado proceso de alteración o un contacto lítico, son característicos de los grupos 1 y 2, con suelos definidos como *Hapludol lítico/típico*, parcelas 25, 13 y 30, y *Udortent lítico*, parcelas 23, 20, 29, 4 y 3 (Tabla 6).

En el presente estudio, la *permeabilidad varía entre rápida a moderadamente rápida hasta lenta a muy lenta*. En el *primer caso* asociado principalmente a suelos entre moderadamente profundos a profundos con texturas grue-

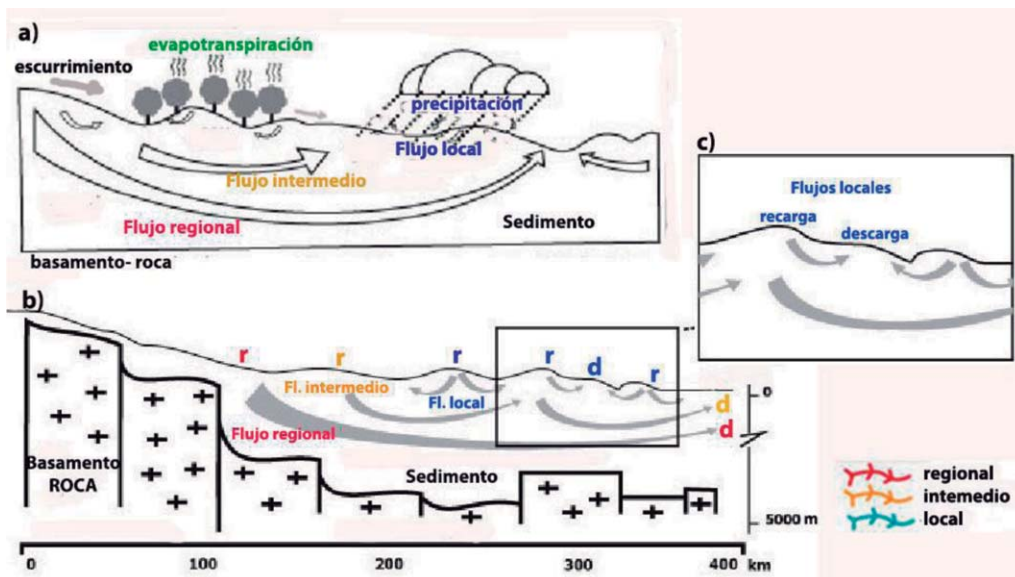
sas, elevada rocosidad o pedregosidad, y en el *segundo caso*, a texturas finas (elevada proporción de arcillas) y/o impedancias mecánicas, siendo lo que caracteriza a muchos de los suelos agrupados en los grupos 4 (*Hapludalf típico*), 5 (*Endoacualf típico*) e incluso algunos del grupo 6 (*Argiudol o Argiacuol*) (Tabla 10, Tabla 12 y Tabla 14).

iii) **La presencia o ausencia de una superficie freática** próxima, como se indicó, es también un factor que define el drenaje. Esto se vincula a la posición de la parcela en el ambiente local y respecto a su entorno general. Esto es, si el sector en estudio funciona como recarga, tránsito o descarga de flujos de agua subterránea de corto recorrido (flujos locales, dependientes de las lluvias del sitio), o de mayor recorrido (flujos intermedios y regionales, generados por lluvias acaecidas en sitios más lejanos). Cada de tipo de flujo, regional, intermedio y local, tienen sus respectivas zonas de recarga, tránsito y descarga (Figura 4). Los flujos y zonas dentro de estos, se identifican a partir de las características de los perfiles edáficos (pH, rasgos hidromórficos), presencia o ausencia de superficies freáticas, y su calidad.

En Figura 4 se presenta un esquema de funcionamiento de zonas de recarga y descarga de diferentes flujos de agua y como estos se vinculan con la precipitación, escurrimiento, vegetación y basamento (roca) basados en Toth (2000). Nótese que en un mismo sitio (parcela en este caso), es posible la presencia de diferentes flujos. En zonas de recarga, el agua es descendente y las superficies freáticas no están próximas a la superficie. En las zonas de descarga el agua es ascendente y en general la superficie se halla próxima a la superficie, dependiendo del comportamiento de la recarga de igual flujo. Entre ambas zonas, recarga y descarga, se ubica la zona de tránsito donde el flujo es lateral.

En el establecimiento estudiado, las *parcelas más bajas topográficamente a nivel regional* (próximas a **60-70 m snm**), funcionan principalmente como *zonas de descarga* de flujos de agua, posiblemente de tipo local, cuyas recargas se ubican en posiciones topográficas más elevadas, y agua proveniente de vías de escurrimiento (subterránea surgente y de escurrimiento).

La presencia en el establecimiento en estudio de **diversos materiales geológicos** incluso dentro de cada parcela (**discontinuidades litológicas** en un corte



**Figura 4.** a) Esquema general de funcionamiento, sistemas de flujo de agua subterránea con otros componentes del ciclo hidrológico. b) Esquema de flujos con sus zonas de recarga y descarga (r, d) en un sedimento sobre un basamento cristalino (bloques de roca). c) Detalle de un sector de b).



vertical del terreno) determina cambios en la permeabilidad y en la dirección del agua que infiltra (zonas dentro de flujos, punto iii) o se constituyen en impedimentos al paso de dicha agua (recargas que no descargan, punto iv). Así, algunas de las parcelas ubicadas en *posiciones topográficas más elevadas a nivel regional y local (>80-100 m snm)*, en los suelos se observaron *características hidromórficas y contenidos de agua (hasta mojados)* que no se corresponden con las precipitaciones del sitio. Consecuentemente, aún en ambientes que «a priori» son recargas de agua se observan descargas posiblemente de flujos de muy corto recorrido o acumulaciones por impedancias.

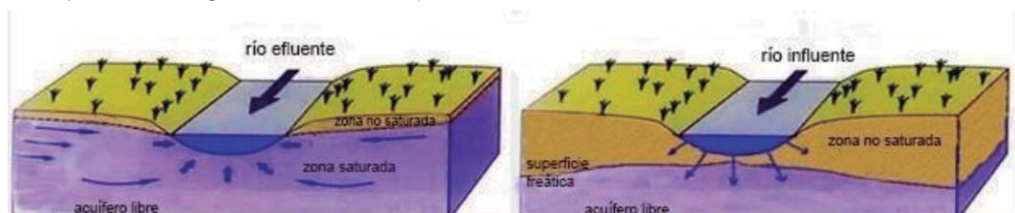
Asimismo, es posible que estos sitios más elevados, funcionen como recargas de flujos de mayor recorrido cuya descarga también se manifiesta por superficies freáticas próximas a la superficie (flujo ascendente), aunque con otra calidad química del agua. Esto podría deberse a que en la recarga a determinada profundidad se presenta otro material geológico respecto a la superficie, donde se generaría el cambio de dirección del flujo descendente (Figura 4). Lo comentado ha sido observado en diversas parcelas donde el régimen de humedad de los suelos es ácuico, con y sin presencia de superficies freáticas próximas (Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16). Independientemente del origen del régimen ácuico de los suelos, en general el grado de hidromorfismo observado incide en el número de árboles, producción de madera, y con la composición y productividad del pastizal.

En las parcelas estudiadas es también posible observar la incidencia de cursos de agua próximos y/o de vías de escurrimiento que funcionan como **efluentes o influentes**, dependiendo de los aportes de agua subterránea (recar-

ga/descarga) y del caudal de los ríos (superiores o inferiores a los niveles freáticos del terreno circundante (Figura 5).

En síntesis respecto a la presencia o ausencia de la superficie freática, algunas de las parcelas estudiadas se comporta como zonas de recarga y otras de descarga de flujos de agua subterránea. En general son de corto recorrido debido a la presencia de diversos materiales geológicos a diferentes profundidades que cambia la dirección del flujo descendente (recarga), posición topográfica y pendientes. En las **zonas de recarga**, la infiltración del agua se favorece si la pendiente del terreno permite la permanencia del agua en superficie y si el perfil edáfico tiene de moderada a elevada permeabilidad. En estos casos no hay hidromorfismo. Por el contrario, en las zonas de descarga, el flujo es ascendente y la presión de ascenso está definida por una carga hidráulica que es mayor a medida que se mide ésta a mayor profundidad; y evidentemente, las características de los materiales del suelo con textura más fina tienen mayor ascenso capilar. En todos los casos en las descargas se reconoce hidromorfismo. El agua desde cursos de agua próximos a las parcelas puede actuar como influentes o efluentes dependiendo del nivel de los cursos de agua y de las superficies freáticas vecinas.

iv) **Acumulaciones de agua por impedancias mecánicas.** En punto anterior se comentó este proceso, cuando las recargas no funcionan estrictamente como parte de un flujo de agua. Las impedancias mecánicas tales como contactos líticos próximos a la superficie o materiales edáficos muy compactados limitan la infiltración de agua de lluvia. El agua puede acumularse encima de dichos límites y generar condiciones de hidromorfismo.



**Figura 5.** Río efluente, recibe agua: nivel en el curso del río es inferior al de la superficie freática en formaciones geológicas permeables próximas. Río Influyente, aporta agua: nivel del río por encima del nivel freático contiguo. Modificado de <http://maquinarialavera.es>

En el presente estudio diversas parcelas presentan esta situación tales como: parcelas 13 (grupo 1), 29, 4 (grupo 2), 27 (grupo 6).

- v) La **evapotranspiración** (pérdida de agua por evaporación del suelo desnudo y consumo de la vegetación). En las parcelas estudiadas, la cobertura en general es próxima al 100% con vegetación herbácea donde prevalece *Baccharis* sp. y *Cynodon* sp. En las parcelas con mayor grado de hidromorfismo se observan también especies de pradera hidrófila, destacándose *Eryngium* sp. y diversas ciperáceas. Consecuentemente, el componente que incide en la pérdida de agua es principalmente la transpiración.

### III 1.3 Tipos de suelo en parcelas estudiadas y características principales

En la Tabla 3 se presentan los 7 grupos de suelo según la clasificación de suelos a nivel de Subgrupo (Soil Taxonomy, 2006), y las parcelas que se incluyen dentro de cada grupo.

Para cada uno de los grupos de suelos se presentan en tablas las principales características que presentan las parcelas que se incluyen en dichos

grupos. Dentro de cada grupo, en la primera tabla se indica: **Zona** donde se ubican dentro de un flujo de agua subterránea (recarga y recarga/transito), **principales limitantes y productividad de madera** a los 57 meses de edad clasificada en Alta (83 m<sup>3</sup>/ha), Media (58 m<sup>3</sup>/ha) y Baja (27 m<sup>3</sup>/ha). En la tabla siguiente la **secuencia de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas** tales como: pH; materia orgánica, MO %; nitrógeno total, Nt %; cationes intercambiables meq/100; SB saturación de bases; CIC estimada por textura y materia orgánica; PSI porcentaje saturación de Na; CE conductividad eléctrica, RAS relación de adsorción sodio por cationes solubles y **textura al tacto** (F franco, A arenoso, L limoso, Arc arcilloso). Se describe en el texto la **permeabilidad, drenaje e hidromorfismo**.

#### III.1.3.1 Grupo 1 (G1)

**Hapludol lítico/típico**, parcelas 25, 13, y 30, Son suelos de escaso desarrollo, poco profundos (< 45 cm, parcelas 25 y 13) a moderadamente profundo, roca (R) a 70 cm (parcela 30). Sin embargo, se destaca en parcela 30 un horizonte A muy profundo (54 cm) y por el contrario en parcela 13 se observa una fuerte compactación a 27 cm. En Tabla 4 se presen-

**Tabla 3.** Grupos de suelo y parcelas incluidas

Grupo 1	Hapludol lítico/típico, parcelas 25, 13 y 30.
Grupo 2	Udortentlítico, parcelas 23, 20, 29, 4 y 3.
Grupo 3	Endoacuol típico, en parcelas 18, 16, y 17.
Grupo 4	Hapludalf típico, en parcelas 32, 314 y 5.
Grupo 5	Endoacualf típico, en parcelas 332, 330, 312, y 1.
Grupo 6	Argiacuol típico, parcelas 328, 308, 309, 315, 322, 317, 320, 287, 28, y Argiudolácuico, parcelas 306, 318.
Grupo 7	Endoacuent lítico, parcelas 325 y 323

**Tabla 4.** Grupo 1, suelo, zonas (recarga, transito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media)

G1/Nº	Suelo	Zona	Limitantes principales	Producción* m <sup>3</sup> /ha
25	<i>Hapludol lítico</i>	R	Escasa retención hídrica, escasa profundidad efectiva, fuert. ácido	95 A
13	<i>Hapludol lítico/típico</i>	R	Idem anterior y P bajo	46 M
30	<i>Hapludol típico</i>	R/T	roca a 70 cm, pH fuertemente ácido, P muy pobre	99 A

\*Nota: 57 meses de edad.

**Tabla 5.** Propiedades químicas y textura de las parcelas del G1 de suelo: 25(a), 13 y 30 (b).

a)																	
P25	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	MO%	N%	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	Bases Totales	CIC est	SB (%)	PSI	CE dS/m	RAS	Text
A1	0-20	5,1	4,1	5,4	0,35	21	8,0	2,8	1,36	0,29	12,4	21	59,4	1,4	0,47	0,09	F
A2	20-30	5,1	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	-	Fa
AC	30+	5,0	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	-	Piedra*

b)													
Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc Kg <sup>-1</sup>													
P13	Prof	pH H <sub>2</sub> O	MO %	Nt %	P Ppm	Textura al tacto							
A	0-27	5,1	3,7	0,26	5	FaL a Fa con gravas muy fino escaso							
Bw	27-43	-	-	-	-	Arc, con gravas muy fino, contenido medio							
CR	43+	-	-	-	-	Arc con gravas abundante muy alterado, trozos de cuarzo y feldespatos alterados							

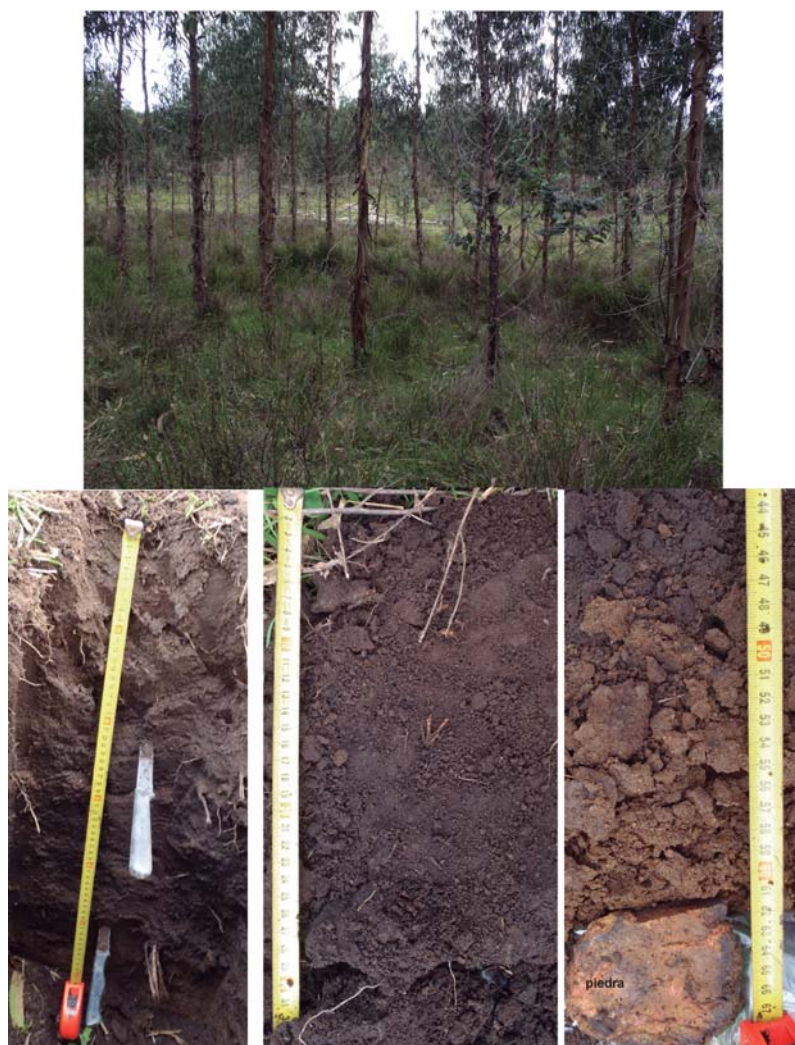
P30													
A1	0-22	4,9	3,4	0,24	3	FL							
A2	22-54	-	-	-	-	FaL a AI							
Bw	54-70	-	-	-	-	Arc							
R	70+	-	-	-	-	Continua y dura							

ta para las 3 parcelas que integran el G1, zona en la cual se ubican, *principales limitantes*, y *productividad de madera* y en Tabla 5, la secuencia de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas y textura al tacto (detalles en párrafos iniciales sobre Tipos de suelo). En Foto 1, como ejemplo del G1, se presenta el suelo de la parcela 30.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo (G1).* La permeabilidad y drenaje varía entre moderadamente rápida a rápida y algo excesivamente drenado (Parcela 25) a permeabilidad moderada y moderadamente bien drenado a bien drenado (Parcela 13 Parcela 30). Esto se asocia al régimen údico de los suelos y ausencia de hidromorfismo, si bien en la parcela 30,

se destaca un ligero hidromorfismo en todo el perfil asociado a texturas algo más finas a partir de 54 cm e impedancia por roca a 70 cm. Asimismo podría vincularse con la posición en el relieve general. En el relieve general la parcela 30 se ubica a 91,2 msnm, más bajo que las parcelas 25 y 13 (122 y 112 msnm respectivamente) y se correspondería con una zona de recarga/tránsito de flujos de agua subterránea, mientras que las parcelas 25 y 13 con zonas de recarga.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* De la Tabla 5 se destaca un pH fuertemente ácido debido a una baja saturación de bases (bases totales entre moderado a bajo contenido, medio a bajo de Ca). En *parcela 25* el contenido de **materia orgánica** es muy elevado (MO,



**Foto 1.** Ambiente y perfil parcela 30 completo, horizonte A (centro), y horizontes CR y R (derecha)

5,4%) y elevado de fósforo (P 21 ppm), mientras que en las otras parcelas disminuye significativamente ambas variables, no obstante la materia orgánica continua siendo elevada. En ningún caso hubo reacción al CaCO<sub>3</sub> con HCl ni presentan salinidad ni alcalinidad.

*Relación suelo-productividad.* La mejor fertilidad química y mayor profundidad efectiva, explica los mayores rendimientos en parcela 25 (95 m<sup>3</sup>/h, alta) respecto a parcela 13 (46 m<sup>3</sup>/h, media). La alta productividad (99 m<sup>3</sup>/ha) de la parcela 30, se asocia a un profundo horizonte A rico en materia orgánica; el ligero hidromorfismo no genera disminuciones de rendimiento.

Es de destacar que las *principales limitante* edáficas mencionadas (Tabla 4) para estos suelos del G1, escasa profundidad efectiva y/o retención hídrica, podría conducir a déficit hídricos en épocas de bajas precipitaciones, situación que no se produjo en el período del presente estudio. Se encuentran ubicadas en zonas de recarga por lo cual el aporte de agua es de las lluvias. Las limitantes relativas al bajo pH, P y baja saturación de bases, son en general comunes a las que se presentan en otros grupos.

**III.1.3.2 Grupo 2**

**Udortent lítico**, parcelas 23, 20, 29, 4 y 3. Son suelos muy poco desarrollados, entre muy someros a someros (menor de 15 cm hasta 45 cm), con secuencias

principalmente A-C y A- AC- CR. En Tabla 6 se presenta para las 5 parcelas que integran el G2, *zona* en la cual se ubican, *principales limitantes*, y *productividad de madera* y en Tabla 7, la secuencia de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas y textura al tacto (detalles en párrafos iniciales sobre Tipos de suelo). En Foto 27 se presenta un ejemplo del suelo del G2 en la parcela 23.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo.* La *permeabilidad* es moderadamente rápida a rápida en la mayoría de estas parcelas a moderada en la parcela 4. El *drenaje* es desde algo excesivamente drenado a bien drenado. No hay hidromorfismo, sin presencia de superficies freáticas, si bien se observan acumulaciones de agua en parcela 29 debida a compactaciones.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* De Tabla 7, se destaca pH fuertemente ácido que se asocia a baja saturación de bases. Son no salinos ni alcalinos. Respecto a la materia orgánica, (MO) están todos muy bien provistos, siendo en todas las parcelas superior a 3% con máximo de 6,4% en parcela 20. Los niveles de P en todos los casos son entre bajos a medios. En ningún caso, hubo reacción al CaCO<sub>3</sub> con HCl.

*Relación suelo-productividad.* La productividad en general es alta, siendo mayor en las parcelas 23 y 20 con muy alto contenido de materia orgánica > 5%,

**Tabla 6.** Grupo 2, suelo, zonas (recarga, tránsito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media)

G2/Nº	suelo	Zona	Limitantes principales	Producciónm <sup>3</sup> /ha	
23	<i>Udortentlítico</i>	R	escasa retención hídrica, y profundidad efectiva, fuertem. ácido, P bajo	92	A
20	<i>Udortentlítico</i>	R	escasa retención hídrica, y prof efectiva, fuertem. ácido, P muy bajo	103	A
29	<i>Udortentlítico</i>	R	escasa retención hídrica, y profundidad efectiva, compactado a 20 cm, ácido, bajo P	18*	M
4	<i>Udortent lítico</i>	R	escasa retención hídrica, y profundidad efectiva, acum. de agua en contacto lítico, fuertemente ácido, bajo P	70	A
3	<i>Udortent lítico</i>	R	escasa retención hídrica, y profundidad efectiva, fuertem. ácido, bajo P	70	A

\*Parcela 29, rendimiento a los 36 meses de edad. El resto de las parcelas se refieren a **57 meses** de edad.

**Tabla 7.** Propiedades químicas y textura de las parcelas de las parcelas del G2 de suelo: 23,20 y 29 (a), 4 y 3 (b).

a)																	
Parcela	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	Bases Totales	CIC	SB%	PSI	CE (dS/m)	RAS	Text
<b>P23</b>																	
A	0-14	5,0	4,2	5,3	0,32	10	7,1	2,7	0,98	0,31	11,1	20,2	55	1,5	0,65	0,09	F-Fa
C	14+																
<b>P20</b>																	
A	0-9	5,9	4,9	6,4	0,33	2	10,0	5,9	0,50	0,36	18,8			2,15	0,15	0,09	F-Fa
CR	9+																
<b>P29</b>																	
A	0-10	5,2	4,1	3,3	0,21	4	3,4	1,3	0,30	0,30	5,30	11,2	47	2,7	0,19	0,13	F-FA
C	10-20+	4,9	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-				0,24		Gravilla Arenoso
b)																	
Parcela	Prof	pH H <sub>2</sub> O	MO%	N%	P (ppm)	Textura al tacto											
<b>P4</b>																	
A	0-21	4,8	3,0	0,23	7	F a Fa											
AC	21-43	Nd	nd	nd	nd	F a Fa c/abundante gravilla y rocosidad muy alterada en la base											
CR	43 + ROCA	Nd	nd	nd	nd	Mayor proporción de roca meteorizada en partes y muy dura a partir de pocos cm, si bien al extraerse se rompe ante fuerte presión											
<b>P3</b>																	
A	0-16	4,9	4,9	0,33	8	F a L											
AC	16+	Nd	nd	nd	nd	Material semejante a A pero con abundante rocosidad mediana y grande, abundante cuarzo.											

## 102 Producción ganadera y forestal: análisis de sistemas de producción integrados

destacándose además, un mayor contenido de P en parcela 23, si bien el espesor del horizonte A es  $<14$  cm. Las diferencias de productividad de 23 respecto a 20 puede ser atribuida a un menor espesor del horizonte A (9 cm) y mucha menor materia orgánica. En las parcelas 4 y 3 también la productividad es entre media alta a alta. En parcela 29

se asocia a las acumulaciones de agua comentadas debido a la fuerte compactación que se observó a 20 cm de profundidad, presentándose al momento de estudio muy húmedo.

Consecuentemente, si bien son todos suelos de estas parcelas son someros a muy someros, con restricción



**Foto 2.** Ambiente y suelo en parcela 23, perfil secuencia A-C, detalle horizonte A (superior derecha) y fondo de pozo (inferior derecha).

químicas semejantes (bajo pH, saturación de bases, P), y elevado contenido de materia orgánica, el menor rendimiento de parcela 29 podría ser debido a la compactación a 20 cm con acumulación de agua y por ubicarse a nivel regional unos 10 metros menos respecto al resto de parcelas que también se clasifican como *Udortent lítico* (91 msnm vs >109 msnm en parcelas 23, 20, 4 y 3). Sin embargo es de destacar que todas se ubican en zonas de recarga de agua, por lo cual las plantas dependen del aporte de agua de lluvia retenida en el perfil. Debido a que la principal limitante física de estos suelos es la escasa profundidad efectiva y escasa retención hídrica, conduciría a disminuciones de rendimientos en épocas secas. Si bien el elevado contenido de materia orgánica aumenta marcadamente la retención de agua y es reserva de nutrientes, para que este dicho nivel se mantenga las precipitaciones deben ser suficientes.

### III.1.3.3 Grupo 3

**Endoacuol típico**, en parcelas 18, 16 y 17. Son suelos moderadamente profundos y desarrollados, con secuencia A-Bw-C y superficie freática entre 55 y 70 cm. En Tabla 8 se presenta para las 3 parcelas la zona en que se ubican dentro de los flujos de agua, principales limitantes, y productividad de madera, y en la Tabla 9 la secuencia de horizontes, profundidades, propiedades químicas y textura al tacto (detalles en párrafos iniciales en punto Tipos de suelo). En Foto 3 se presenta un suelo del G3 en parcela 18.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo.* La permeabilidad de las 3 parcelas es mo-

deradamente lenta, destacándose en parcela 18 una línea de piedra a 38 cm de profundidad, y en parcela 16 presencia de gravilla. El régimen de humedad del suelo en todas las parcelas es ácuico y el drenaje imperfectamente drenado con tendencia a anegarse por superficie freática.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* De Tabla 9 se destaca pH fuertemente ácido con muy baja saturación de bases, con excepción de parcela 16 donde el pH aumenta, así como las bases. No son salinos ni alcalinos. La materia orgánica es muy variable entre 2 % y 5,8 % y los niveles de P son extremadamente bajos. En todos incide la superficie freática con diferencias en el pH y la CE que podría deberse a que son las descargas de flujos de diferente origen.

*Relación suelo-productividad.* Los rendimientos fueron muy variables, de bajo en parcela 16 a alto en parcela 17. La menor productividad en parcela 16 se debe a un mayor hidromorfismo, la superficie freática se haya más próxima y el pH incrementa con la profundidad que se corresponde con el pH del agua freática (Tabla 9). Asimismo se reconoce en la parcela 16 vegetación hidrófila. Se destaca, la productividad de la parcela 18 y 17 que no difiere de la obtenida en algunas de las parcelas de zonas de recarga mencionadas precedentemente (por ejemplo, parcela 4 y 3) lo cual no puede ser explicado con las variables edáficas consideradas ni por las condiciones de hidromorfismo, todas presentan agua subsuperficial cercana. Sin embargo cabe destacar que escasas variaciones en la profundidad de la freática y la presencia de materiales edáficos más gruesos (gra-

**Tabla 8.** Grupo 3, suelo, zonas (recarga, tránsito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media).

G3/ Nº	suelo	Secuencia	Zona	Limitantes principales	Producción (m <sup>3</sup> /ha)	
18	<i>Endoacuol típico</i>	A -Bw - C	D	hidromorfismo, texturas finas desde 38 cm, fuertem ácido, bajo P	70	A
16	<i>Endoacuol típico</i>	A - Bw - freática 55+	D	hidromorfismo, incrementa pH en profundidad por agua freática, muy bajo P	38	B
17	<i>Endoacuol típico</i>	A - Bw - freática 70+	D	hidromorfismo, muy bajo P, fuertem. Ácido	69	M



Tabla 9. Propiedades químicas y textura de las parcelas del G3 de suelo: 18, 16 y 17.

Parcela	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	Bases totales	PSi	CE (dS/m)	RAS	Text
<b>P18</b>															
A	0-38	5,0	3,8	2,1	0,17	1	3,2	1,8	0,11	0,29	5,40	2,13	0,1	0,13	FaA*
	línea rocas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Arc
	80+ Agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Arc**
----- Agua freática : pH 5,3, CE 2,17 dS/m, Temp 23oC * con grava **con gravilla fina -----															
<b>P16</b>															
A	0-25	6,4	5,4	5,8	0,4	2,0	11,2	6,40	0,0	0,5	18,3	2,3	0,2	0,1	Fa
	Bw	6,9	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	Arc*
	+ 55	Agua freática: pH 6,85; CE 0,82 dS/m; Temp 20oC (flujo local, responde a precipitaciones del sitio) * gravilla muy fina													
<b>P17</b>															
A	0-36	5,1	4,0	3,5	0,34	2,0	3,1	1,8	0,16	0,30	5,36	2,0	0,12	0,11	FA
	Bw	5,3	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	Arc
----- Agua freática: pH 5,9 CE 0,40 dS/m; T19°C (flujo local, muy semejante a la de la parcela 16) -----															

Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc kg<sup>-1</sup>.



**Foto 3.** Ambiente y suelo en parcela 18, material edafizado, con hidromorfismo, minerales alterados.

villas) podría disminuir el efecto de hidromorfismo sobre la vegetación, tal como se observó en parcelas 18 y 17.

Respecto a las diferencias en las condiciones locales del clima, topográficamente se ubican a más de 100 msnm (102, 104 y 110 msnm para las parcelas 18, 16 y 17 respectivamente). Las limitantes relativas al pH y baja saturación con bases que caracteriza en general a todos los suelos, no se presenta en la parcela 16, y no obstante esto, y el mayor contenido de materia orgánica, no hubo mayores rendimientos debido al mayor hidromorfismo.

### III.1.3.4 Grupo 4

**Hapludalf típico**, en parcelas 32, 314 y 5. Los suelos de las tres parcelas, son moderadamente profundos a profundos y desarrollados, con secuencia A-Bt-C, y A-Bt-BC-CR, con elevado contenido de agua entre 55 y 70 cm de profundidad. En Tabla 10 se indica la zona hídrica en la cual se ubican las 3 parcelas que se incluyen en el G4, principales

limitantes y productividad de madera, y en la Tabla 11, la secuencia de horizontes, profundidades, propiedades químicas y textura al tacto (se explican al comienzo del tema Tipos de suelo). En Foto 4 se presenta un suelo del G4 de parcela 5.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo.* La permeabilidad es moderada en parcela 32 y moderada a moderadamente lenta en 314 y 5. El drenaje resulta moderadamente bien drenado en parcelas 32 y 5, y algo peor en 314, imperfectamente drenado. Presentan régimen de humedad údico, teniendo tendencia al ácuico la parcela 314.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* De la Tabla 11 se destaca un incremento de pH en profundidad, que podría deberse a la presencia del calcáreo en la parcela 32, y en menor medida en parcela 314 (ligera reacción), no estando presente en parcela 5. El contenido de materia orgánica es rico en las 3 parcelas aunque algo menor en parcela 5.

**Tabla 10.** Grupo 4, suelo, zonas (recarga, tránsito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media).

G4 N°	suelo	Secuencia	Zona	Limitantes principales	Producción m <sup>3</sup> /ha	
32	<i>Hapludalf típico.</i>	A - Bt - BC - CR	R/T	erosión por pendientes, bajo P y saturación de bases, fuert ácido, acum de agua en prof	84	A
314	<i>Hapludalf ácuico</i>	A-Bt-BC	T/D	hidromorfismo en profundidad, fuert ácido, bajas bases, muy bajo P, aum el pH en prof	48	M
5	<i>Hapludalf típico</i>	A - Bt - BC - CR	R	Mod profundo, hidromorfismo a 53 cm, prof total 73 cm, fuertem ácido, muy bajo P	65	M

Tabla 11. Propiedades químicas y textura de las parcelas del grupo 4 de suelo, 32, 314 y 5.

Parcelas	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	Bases Totales	PSI	CE (dS/m)	RAS	Text
<b>P32</b>															
A	0-17	5,3	4,3	3,8	0,26	4	6,8	2,8	0,86	0,47	10,93	2,6	0,34	0,16	F-Fa
Bt	17-65	6,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	-	arc
BC	65-69	7,9	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	-	arc, gravilla
CR	69+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	pedra disgregada, roca fresca
<b>P314</b>															
A	0-20	5,2	4,0	4,1	0,29	2	5,1	2,2	0,23	0,40	7,93	2,4	0,16	0,09	Fa/ gravilla
Bt	20-61	6,4	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	a /gravilla
BC	61-79+	7,4	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	-	arc > gravilla
<b>P5</b>															
A	0-36	4,8	-	2,8	0,20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	Fa/FL
Bt	36-57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	arc
C	57-73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	arc
CR	73+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abund gravilla

Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc kg<sup>-1</sup>.



**Foto 4.** Ambiente y detalle del suelo de parcela 5.

*Relación suelo-productividad.* La parcela 314 con menor productividad se asocia al drenaje (imperfectamente drenado). La parcela 5 aunque con menos hidromorfismo y mayor rendimiento que la parcela 314 también condujo a una menor productividad que la parcela 32. La mayor productividad de la parcela 32 puede atribuirse a un menor hidromorfismo con permeabilidad moderada y drenaje también moderado, a pesar de presentar acumulación de agua en profundidad (>65 cm) por presencia de CR con alta alteración.

Regionalmente, se destaca que la parcela 314 se ubica en posiciones topográficamente más bajas (62 msnm), siendo zona de tránsito/descarga, con mayor hidromorfismo y menor producción y difiere marcadamente de la parcela 5 a 110 msnm en zona de recarga, aunque también con menor productividad asociado a un mayor hidromorfismo. La parcela 32 se encuentra en una situación intermedia respecto a alturas (82 msnm) y en zona de *recarga-tránsito*. La limitante principal de las parcelas 314 y 5, son semejantes a las de la parcela 32 pero presentan un mayor hidromorfismo, con

una permeabilidad moderada a moderadamente lenta.

### **III.1.3.5 Grupo 5**

**Endoacualf típico**, en parcelas 332, 330, 312 y 1. Son suelos profundos (>75 cm, algo menor en parcela 1) y desarrollados, con secuencia de horizontes en el suelo más desarrollado A-AB-Bt<sub>1</sub>-Bt<sub>2</sub>-BC (parcela 332). En Tabla 12 se presenta la zona hídrica en la cual se ubican las cuatro parcelas, principales limitantes y productividad de madera, y en Tabla 13 la secuencia de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas y textura al tacto (al inicio del punto tipos de suelo se indican los detalles). En Fotos 5 y 6 se presenta el ambiente y suelo de la parcela 312.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo.* En todas las parcelas, la permeabilidad es moderadamente lenta a lenta y el drenaje de pobremente drenado a imperfectamente drenado. Presentan régimen de humedad ácuico. La *superficie freática* se ubica a 15 a 30 cm en parcelas 332, 330 y 1, mientras que en 312 un poco

**Tabla 12.** Grupo 5, suelo, zonas (recarga, tránsito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media).

G5/ N°	suelo	Secuencia	Zona	Limitantes principales	Producción m <sup>3</sup> /ha	
332	<i>Endoaqualf típico</i>	A-AB-Bt1-Bt2	D	Elevado hidromorfismo, fuertemente ácido, mod baja bases, bajo P, Ca. Alcalinidad en profundidad sin CaCO <sub>3</sub> .	30	B
330	<i>Endoaqualf típico</i>	A-AB-Bt1-Bt2-BC	D	Elevado hidromorfismo, fuertem. ácido, mod baja bases, bajo P, Ca. Alcalinidad en profundidad con CaCO <sub>3</sub> .	44	M
312	<i>Endoaqualf típico</i>	A - Bt1-Bt2 BC	T/D	Hidromorfismo elevado desde 60 cm, fuert. ácido, bajas bases, muy bajo P	64	M
1	<i>Endoaqualf típico</i>	A - Bt - BC	D	Hidromorfismo elevado desde 34 cm, text muy finas, fuert ácido, muy bajo P	44	B

más profunda, 30-45 cm. La permeabilidad en 330 mejora respecto a 332 debido a la presencia de gravilla en Bt y de carbonato de calcio.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* En la Tabla 13 se aprecia que en parcelas 332 y 330, aumenta el pH en profundidad (7,0-8,0) sin la presencia de carbonatos de calcio en 332, por lo cual dicho aumento podría deberse a la presencia de mayor contenido de Na<sup>+</sup> en el agua freática. Por el contrario, en parcela 330 en el horizontes BC hay reacción moderada al carbonato, con presencia de calcáreo pulverulento y puede ser entonces asociado al aumento de pH. Se destaca que el agua acumulada en superficie en la parcela 332, tiene pH 6,6 siendo el pH del suelo superficial 5,4. En parcela 1, tampoco hubo reacción al carbonato, y si bien no se midió en pH en profundidad, es de destacar que vecino a dicha parcela hay una *vía de escurrimiento, con agua estancada* de pH 8,25 y CE 0,40 dS/m, interrumpida en algunos sitios y que no se asocia a la pendiente general del sitio por lo cual es factible suponer que es agua subterránea (zona de descarga).

El contenido de *materia orgánica en todas las parcelas* es elevado entre 3 % (parcela 1) hasta 4,8% (parcela 332). El espesor del horizonte A es entre 15 cm hasta 34 cm (parcelas 332 y 1 respectivamente). En todos los perfiles solo en superficie la textura es media y muy fina a partir del horizonte B.

*Relación suelo- productividad.* La productividad de las parcelas 332 y 1 es baja y media en las restantes. Las diferencias pueden ser explicadas por el mayor hidromorfismo en la parcela 332, ya que

esta llega a ser anegable y se ubica en una posición de bajo con depresiones. Asimismo, incide la mayor alcalinidad del agua freática, que si bien también es elevada en la parcela 330 es posible que tenga un menor efecto negativo sobre el rendimiento debido a que además hay calcáreo y gravilla que mejoran la permeabilidad.

En todas las parcelas, se observan limitantes comunes a gran parte de las parcelas estudiadas: pH fuertemente ácido en superficie con moderado contenido de bases, baja a muy bajo contenido de P (Tabla 13), y aún con alto contenido de materia orgánica, la baja producción es debida al *elevado hidromorfismo* (superficie freática próxima a la superficie). Así, las parcelas 332, 330, 1, se ubican en *zonas de descarga* y la parcela 312 en zona de *tránsito/descarga*. El incremento de pH en la base del perfil y la cercanía a vías de escurrimiento de la parcela 1 con agua alcalina, sugiere que los flujos de agua son de mayor recorrido y que no sólo se debe a las precipitaciones locales.

Regionalmente se ubican en posiciones topográficas más bajas que otras parcelas. Así, las parcelas 332, 330, y 312 se ubican a < 78 msnm (74, 70 y 78 msnm respectivamente), y en una posición más elevada la parcela 1 (98 msnm), aunque como se comentó, es vecina a vías de escurrimiento con agua alcalina. Se aprecia entonces, que hay efectos locales y regionales que inciden en la productividad fuertemente condicionada por el elevado hidromorfismo, pero tal vez posiciones más elevadas generan microclimas que modifican el efecto sobre la vegetación.

**Tabla 13.** Propiedades químicas y textura de parcelas del grupo 5, 332, 330, 312 (a) y 1 (b).

Parcela	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	SB	CIC	SB%	PSI	CE dS/m	RAS	Text
<b>P332</b>																	
A	0-15	5,4	4,5	4,8	0,30	7	6,5	2,5	0,35	0,45	9,80	19,9	50	2,2	0,24	0,20	F-Fal
AB	15-30	5,7	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	-	Fa
Bt1	30-60	6,6	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	arc
Bt2	60-90	7,0	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	-	arc
<b>P330</b>																	
A	0-17	5,3	4,2	3,7	0,27	1	6,9	2,7	0,44	0,43	10,5	18,7	56	2,5	0,16	0,09	Fa
BA	17-35	5,6	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-	aL
Bt1	35-60	7,0	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	-	arc
Bt2	60-78	7,0	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	-	arc
BC	78-90+	<b>8,0</b>	7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	-	arc
<b>P312</b>																	
A	0-16	5,4	4,3	4,7	0,33	1	7,2	2,7	0,29	0,34	10,5	17,3	60	1,9	0,22	0,18	FaL/Fa
Bt1	16-60	5,3	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	arc
Bt2	60-120	6,3	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	arc

**160** Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc Kg<sup>-1</sup>

b) PI	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Text
A	0-34	5,1	-	3,3	0,22	3	Fa
Bt	34-70	-	-	-	-	-	arc
BC	70+	-	-	-	-	-	arc



Foto 5. Ambiente y detalles de la vegetación y cobertura vegetal, con *Cynodon*, *Eryngium* y carqueja, por sectores material seco parcela 312.



Foto 6. Secuencia de horizontes en parcela 312, horizonte A hasta BC a más de 120 cm.

### III.1.3.6 Grupo 6

**Argiacuol típico**, parcelas 328, 308, 309, 315, 322, 317, 320, 27, 28, y **Argiu-dol ácuico** 306, 318. Son suelos profundos (>70–90 cm), y desarrollados, con secuencia de horizonte A-Bt1-Bt2-BC o A-Bt-BC, en algunos se reconoce también CR. En la Tabla 14 se presentan para todas las parcelas la zona hídrica en

la cual se ubican, principales limitantes y productividad de madera. En las Tabla 15 y Tabla 16 las secuencias de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas y textura al tacto (se explican al inicio del punto tipo de suelos). En la Tabla 17 la calidad del agua medida en vías de escurrimiento próximas al sitio. En la Foto 7 se presenta el color de

**Tabla 14.** Grupo 6, suelo, zonas (recarga, tránsito), limitantes principales y producción en madera a los 36 meses y calificación (A alta, M media).

G6 N°	suelo	Secuencia	Zona	Limitantes principales	Producción m <sup>3</sup> /ha	
328	Argiacuol típico	A-Bt1-BC	D	Hidromorfismo elevado, fuert. ácido, mod baja bases, muy bajo P, Ca. Aumenta alcalinidad en prof	28	B
306	Argiudolácuico	A-Bt-BC	D	Hidromorfismo moderado. pH ácido, P pobre.	75	A
308	Argiacuol típico	A-Bt-BC	D	Hidromorfismo elevado, pH ácido, P extremadamente pobre	68	M
309	Argiacuol típico	A-Bt1-Bt2	D	Hidromorfismo elevado, mojado desde 50, pH ácido, P muy bajo	61	M
315	Argiacuol típico	A-Bt1-Bt2	D	Hidromorfismo elevado, mojado desde 50, pH fuert ácido, P bajo	46	M
322	Argiacuol típico	A-Bt1-Bt2	D	Hidromorfismo elevado, pH fuert ácido, P bajo	4,6	B
317	Argiacuol típico	A-Bt1-Bt2-BC	D	Hidromorfismo muy elevado, pH fuertemente ácido, P bajo	26	B
318	Argiudolácuico	A-AB-Bt1-Bt2	D	Hidromorfismo moderado en sup a elevado en prof, pH ácido, P pobre	67	M
320	Argiacuol típico	A - Bt	D	Hidromorfismo muy elevado, P pobre	18	B
27	Argiacuol típico	A-Bt-BC-CR	D	Hidromorfismo moderado a abundante, P bajo	26	B
28	Argiacuol típico	A - Bt - BC+	D	Hidromorfismo elevado, pH fuert ácido, P bajo	71	A

aguas que escurren en proximidades de las parcelas 318 y 320 en función de su composición (Tabla 17). En la Foto 8 y Foto 9 a modo de ejemplo el ambiente y el suelo de las parcelas 317 y 27 (muy bajo rendimiento 14 y 26 m<sup>3</sup>/ha respectivamente) y en la Foto 10 de la parcela 308 (alto rendimiento 68 m<sup>3</sup>/ha).

*Permeabilidad, drenaje, régimen humedad del suelo, hidromorfismo.* La permeabilidad es moderadamente lenta a lenta en parcelas 308, 309, 315, 322, 27 y 28; moderadamente lenta en parcelas 328, 306, 318, y lenta en parcelas 317 y 320. Todas son de régimen ácuico, siendo en el caso de las parcelas 306 y 318 en el límite de údico/ácuico.

*El drenaje* es de imperfectamente drenado (306, 308, 309, 315, 318, 27) a pobremente drenado (328, 322, 317, 320, 28) estas últimas con excepción de la parcela 28 se asocia a muy bajos rendimientos. La profundidad de la superficie

freática se ubica en la mayoría de las parcelas entre 25-50 cm, siendo algo más superficial en parcela 320 (<25 cm) y más profunda 55-100 cm en parcelas 306 y 318. Se destaca en la parcela 27 que las texturas finas son las que posiblemente más inciden en la acumulación de agua y asociada a esta, elevada alteración de materiales y rasgos hidromórficos.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* De la Tabla 15 y Tabla 16 se aprecia un elevado contenido de materia orgánica, entre 2,7 y 3,8 % y un espesor del horizonte A entre 20 y 40 cm. Las texturas son arcillosas en los horizontes Bt con presencia en algunos casos de gravilla que mejoraría el drenaje, situación que no se observó debido a la cercanía con superficies freáticas. En ninguna de las parcelas hay calcáreo. Se aprecia en la parcela 318, una disminución de pH atribuible a la presencia de materia orgá-

**Tabla 15.** Propiedades químicas y textura de las parcelas del grupo 6 de suelo, Argiacuol típico, parcelas 328 (a), 306, 308 y 309 (b) \*gravilla fina entre escasa a moderada, y cantos en el Bt

a) P328	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KC l)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	SB	CIC	% SB	PSI	CE (dS/m)	RAS	Text
A	0-20	5,5	4,2	3,0	0,21	3	6,2	2,4	0,27	0,5	9,3	17	56	2,8	0,11	0,06	FaL/ Fa*
Bt	20-64	6,3	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	-	arc*
BC	64-87+	7,4	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	arc*

Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc kg<sup>-1</sup>.



**Tabla 16.** Suelos Grupo 6, Argiacuol típico, parcelas 315, 322, 317, 320, 287, 28, y Argiudol ácuico 306, 318.

Parcela	Prof	pH (KCl)	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Text
<b>P306</b>						
A	0-29	5,4	2,9	0,23	6	Fa
Bt	29-80	Nd	-	-	-	arc
BC	80+	Nd	-	-	-	Arc
<b>P308</b>						
A	0-36	4,9	2,7	0,21	2	aL
Bt	36-59	Nd	-	-	-	arc
BC	59-70+	Nd	-	-	-	arc
<b>P309</b>						
A	0-35	5,3	3,4	0,25	4	aL
Bt	35-56	Nd	-	-	-	arc
BC	56-70+	Nd	-	-	-	arc
Parcela	Prof	pH H2O	MO (%)	N (%)	P (ppm)	Textura al tacto
<b>P315</b>						
A	0-40	5,0	3,8	0,30	7	Fa a FaL
Bt1	40-70	nd	Nd	Nd	Nd	Arc
Bt2	70+	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc sin rocosidad
<b>P322</b>						
A	0-37	5,1	2,8	0,21	6	FaL/ aL
Bt1	37-56	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc
Bt2	56- 70+	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc sin rocosidad
<b>P317</b>						
A	0-25	4,9	3,2	0,23	5	FaL
Bt1 y Bt2	25-47	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc
BC	47+	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc
<b>P318</b>						
A	0-29	5,2	3,0	0,24	5	FaL
AB	29-47	nd	Nd	Nd	Nd	aL
Bt1	47- 66	nd	Nd	Nd	Nd	Arc con piedras
Bt2	66-75+					Arc
<b>P320</b>						
A	0-30	6,3	3,4	0,28	9	FaL a aL
Bt	30-90+	Nd	Nd	Nd	Nd	FaL y en la base aumenta a Fa
<b>P27</b>						
A	0-20	6,0	3,1	0,25	6,0	FL a FaL
Bt	20-44	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc
BC	44-65	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc con abund gravilla
CR	65+	Nd	Nd	Nd	Nd	
<b>P28</b>						
A	0-24	5,1	2,4	0,20	5	FL a FaL
Bt	24-50	Nd	Nd	Nd	Nd	Arc
BC	50-80+	Nd	Nd	Nd	Nd	FaL

**Tabla 17.** Calidad de agua en vías de escurrimiento próximas a parcelas del grupo 6.

Parcela 328, vía de escurrimiento, agua pH 7,7, CE 0,87 dS/m; T°C 23,3 (agosto 2015)

Parcela 309, vía de escurrimiento, agua pH 8,25, CE 0,14 dS/m (mayo 2016)

Parcela 318, cañada, bajo con agua en superficie y vegetación hidrófila Foto 7.

Agua oscura con materia orgánica pH 7,74 CE 0,45 dS/m, T°C 13,5 y color rojo, rica en óxidos de Fe, pH 6,9, CE 0,3 dS/m, T°C 14 (extraída a un metro de distancia entre si), agua surgente en ambiente bajo (mayo 2016).

Parcela 322, vía de drenaje, agua en superficie (pH 8,4 y CE 0,4 dS/m), y sin agua (19 de mayo de 2016).

Parcela 320, vía de escurrimiento, agua en superficie limpia, pH 8,05, CE 0,22, y 14,6°C y agua roja, pH 6,8, CE 0,17, y 13,0°C (mayo 2016)

Parcela 28, cárcavas, agua pH 7,7 CE 0,18 dS/m y 14°C (29 agosto, 2015)

nica u óxidos (pH inferior a 7,7 y 6,9 respectivamente), destacándose que en general el pH de las vías de escurrimiento es >a 8 (Tabla 17).

Respecto a la calidad del agua de cañadas y vías de escurrimiento, se aprecia el elevado pH y baja salinidad con temperaturas variables y origen del agua. En las vecindades de la parcela 328 se mide una temperatura elevada 23 °C respecto a la medida en igual fecha en cárcavas próximas a la parcela 28 (14°C), siendo igual el pH. Los de mayor temperatura (proximidad de parcela 328) se vinculan a flujos de agua algo más profundos y mayor contenido de Na. Estas diferencias en la calidad del agua incidente en parcela 28, agua de flujo local y corto recorrido y en una

posición topográfica más alta (102 msnm), podría explicar el mayor rendimiento de dicha parcela respecto a la parcela 328 a 60 msnm, presentado ambos sitios características edáficas comunes, destacándose el elevado hidromorfismo (Tabla 14).

En las vías de drenaje próximas a las parcelas 309, 322, y 320, el pH es alcalino, siendo en las dos últimas parcelas muy bajo el rendimiento. En estas dos últimas parcelas el rendimiento fue muy bajo, así como las posiciones topográficas. Esto no ocurrió con la parcela 309. No hay en otras propiedades edáficas cambios que puedan explicar los diferentes rendimientos. Podría suponerse un funcionamiento diferencial de las aguas subterrá-



**Foto 7.** Agua surgente en ambiente bajo extraída (mayo 2016) de proximidades de parcela 318 (rendimiento 67 m<sup>3</sup>/ha): agua oscura con materia orgánica pH 7,74 CE 0,45 dS/m, T°C 13,5 y color rojo, rica en óxidos de Fe, pH 6,9, CE 0,3 dS/m, T°C 14 (extraída a un metro de distancia entre si) y en proximidades de parcela 320 (rendimiento 18 m<sup>3</sup>/ha), agua en superficie limpia, pH 8,05, CE 0,22, y 14,6°C y agua roja, pH 6,8, CE 0,17, y 13,0°C (Tabla 17)

neas y no obstante dicha parcela 309 es vecina a vías de escurrimiento alcalinas estas no estaría actuando como influentes (aportando agua, *Figura 5*) y/o adicionalmente recibe agua de sitios más elevados con menor salinidad (flujos locales de lluvia local). Puede también indicarse, que si bien la parcela 309 a nivel regional está en una posición algo más elevada respecto a 322 y 320 todos se encuentran en posiciones relativamente bajas (309, 70 msnm; 322, 60 msnm; 320, 67 msnm).

*Relación suelo-productividad.* La producción en madera es baja en parcelas 328, 322, 317, 320, 27 y media en parcelas 315 y 318. El rendimiento mejora en las parcelas 306, 309, 28 y 308. Consecuentemente, el elevado hidromorfismo no condujo en todos los casos a iguales disminuciones de rendimiento. La calidad de agua subterránea que incide y posición topográfica regional más alta podría explicar las diferencias en rendimiento.

Se ubican en alturas variables, entre 67 y 102 msnm. Las parcelas con mayor hidromorfismo y menores rendimiento se dan en posiciones más bajas (< 70 msnm), rendimiento moderado a moderadamente alto en posiciones algo mayor a 70 msnm, siendo mayores los rendimientos en las posiciones más altas (parcelas 306, 308 y 28; 92, 82 y 102 msnm respectivamente). Asimismo se destaca la mejor calidad de agua próxima en algunas de ellas tal como en la

parcela 28. Igualmente, todas las parcelas se ubican en zonas hidrológicas de descarga de flujos de agua subterránea pero con mayor o menor recorrido y consecuentemente con mayor o menor alcalinidad/salinidad y régimen ácuico de suelo.

En *síntesis* para este grupo 6 de suelos clasificados como *Argiacuol típico* y *Argiudol ácuico*, se destaca como principal limitante el elevado hidromorfismo, debido a la presencia de superficies freáticas próximas a poco profundidad siendo algo menor el hidromorfismo en parcelas 306 y 318, ambas con mayor rendimiento. Otras propiedades edáficas limitantes tal como pH entre ácido a fuertemente ácido en superficie, bajo a muy bajo P, es común a todas y consecuentemente no puede vincularse a las diferencias en rendimiento de madera. Es posible que sean tres las variables que principalmente inciden: grado de hidromorfismo, altura topográfica regional y la incidencia de flujos locales de zonas más altas y/o de flujos de algo mayor recorrido de vías de escurrimientos.

En casi todos los casos el espesor del horizonte A (entre 20 y 40 cm) con adecuada a elevado contenido de materia orgánica, en general mayor a 3 % (entre 2,3 y 3,8%), si bien podría tener cierta incidencia en el rendimientos no son decisivos tal como si lo es el hidromorfismo (régimen ácuico) y calidad del agua subterránea (zonas de descarga).



**Foto 8.** Perfil parcela 317, horizontes A y parte superior del Bt (centro), y horizonte BC (derecha) y ambiente. Rendimiento 14 m<sup>3</sup>/ha.



**Foto 9.** Perfil parcela 27: horizonte A, Bt y BC (sup izq). Detalle de A y parte Bt (sup der), Bt y BC (inf izq, barnices; inf der hidromorfismo con alteración de minerales). Rendimiento 26 m<sup>3</sup>/ha.



**Foto 10.** Perfil de suelo en parcela 308, detalle de sector del Bt, barnices, rasgos hidromórficos y alteración de material original. Rendimiento 68 m<sup>3</sup>/ha.

**III.1.3.7 Grupo 7**

**Endoacuent lítico, parcelas 325 y 323.** Suelos someros, de muy escaso desarrollo, secuencia A – C y A – CR – R. En Tabla 18 se presenta la zona en la cual se ubican las parcelas, principales limitantes y productividad de madera, y en Tabla 19 secuencia de horizontes, profundidades, algunas propiedades químicas y textura al tacto. En la Foto 11 se presenta el perfil y ambiente de la parcela 323 (bajo rendimiento, 31 m<sup>3</sup>/ha), y en Foto 12 un detalle del horizonte A, CR, y fondo de pozo con material alterado a 54 a 65 cm.

*Permeabilidad, drenaje, régimen de humedad del suelo, hidromorfismo.* La permeabilidad por texturas se define como moderada a moderadamente rápida. Sin embargo, el drenaje resulta pobremente drenado (parcela 325) a imperfectamente drenado (parcela 323) debido a la presencia de superficies freáticas muy próximas. Se encuentra 323 en proximidad de cañada.

*Propiedades químicas, físico-químicas.* pH fuertemente ácido, bajo contenido de bases, moderado a bajo contenido de P. El horizonte A, poco profundo (22-24 cm) presenta un contenido de materia orgánica medio a alto (2,5 a 3,1 %) (Tabla 19).

*Relación suelo-productividad.* La baja productividad de estas parcelas es debida al elevado hidromorfismo, ubicadas en

partes bajas del relieve local y general: 325 y 323. Ambas parcelas se ubican en posiciones bajas y cóncavas, dentro de un relieve general también bajo, 55 y 62 m snm (325 y 323 respectivamente), siendo zonas de descarga de flujos de agua subterránea. Se encuentran próximas a vías de escurrimiento con agua de elevado pH, próximo o superior a 8, siendo factible que dicha alcalinidad también se presente en la base de los perfiles (no medida).

*Calidad de agua en vías de escurrimiento próximas.* Arroyo El Sauce, próximo a parcela 325 (fecha 29 de agosto 2015). La calidad de agua fue medida en 3 sectores del arroyo: i) *aguas arriba*, hacia la derecha antes de recibir agua de escurrimiento proveniente del área de la parcela 328, **pH 8,16; CE 0,30 dS/m; T°C 19;** ii) *aguas abajo*, hacia la izquierda, luego de recibir el escurrimiento, **pH 8,05; CE 0,25 dS/m; T°C 18,3;** iii) agua a la salida de escurrimiento, antes de llegar al Arroyo El Sauce: **pH 7,8; CE 0,43dS/m; T°C 19,7.** Esta última, se corresponde con la vía de escurrimiento medido en parcela 328, que escurre hacia el arroyo El Sauce, y que presenta mayor temperatura y salinidad (CE 0,87dS/m; T°C 23,3), indicando que recibe agua subterránea proveniente de un sector más lejano. Igualmente, se destaca que el pH elevado indicaría aportes de aguas subterráneas a dicho arroyo.



**Foto 11.** Perfil de suelo y ambiente en parcela 323.

**Tabla 18.** Tipos de suelos, características principales y producción en madera a los 36 meses, en m<sup>3</sup>/ha y calificación A, alta y M, media

ParcNº	suelo	Secuencia	Zona	Limitantes principales	Producción m <sup>3</sup> /ha
325	<i>Endoaquent lítico</i>	A - C	D	Hidromorfismo elevado, fuert ácido, bajas bases, compactado a 22 cm	18 B
323	<i>Endoaquent típico</i>	A- CR - R	D	poco profundo, elevado hidromorfismo, fuert ácido, P pobre	31 B

**Tabla 19.** Propiedades químicas y textura de las parcelas del grupo 7 de suelo, Endoaquent lítico típico (a y b, parcelas 325 y 323 respectivamente.), pH, materia orgánica (MO %), nitrógeno total (Nt %), Text textura, F franco A arenoso L limoso \* gravilla fina muy alterada

a)P325	Prof	pH H <sub>2</sub> O	pH (KCl)	MO (%)	MO (%)	N (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	SB	CIC	%SB	PSI	CE (dS/m)	RAS	Text	
A	0-22	5,0	3,9	2,4	2,4	0,18	0,18	15	3,2	1,2	0,22	0,33	4,95	9,36	53	3,6	0,14	0,11	FA*	
C	22+																			

b)				Textura al tacto			
P323	Prof	pH H <sub>2</sub> O	MO (%)	N (%)	P (ppm)		
A	0-24	4,9	3,1	0,24	8	F a FL	
CR	24-53	-	-	-	-	F a AF, matriz arcillosa pero mucho gravilla fino: arena gruesa y muy gruesa	
R	53+	-	-	-	-		

Ca, Mg, K y Na expresados en cmolc kg<sup>-1</sup>.



Foto 12. Parcela 323. Detalle del horizonte A, CR, y fondo de pozo con material alterado a 54 a 65 cm.

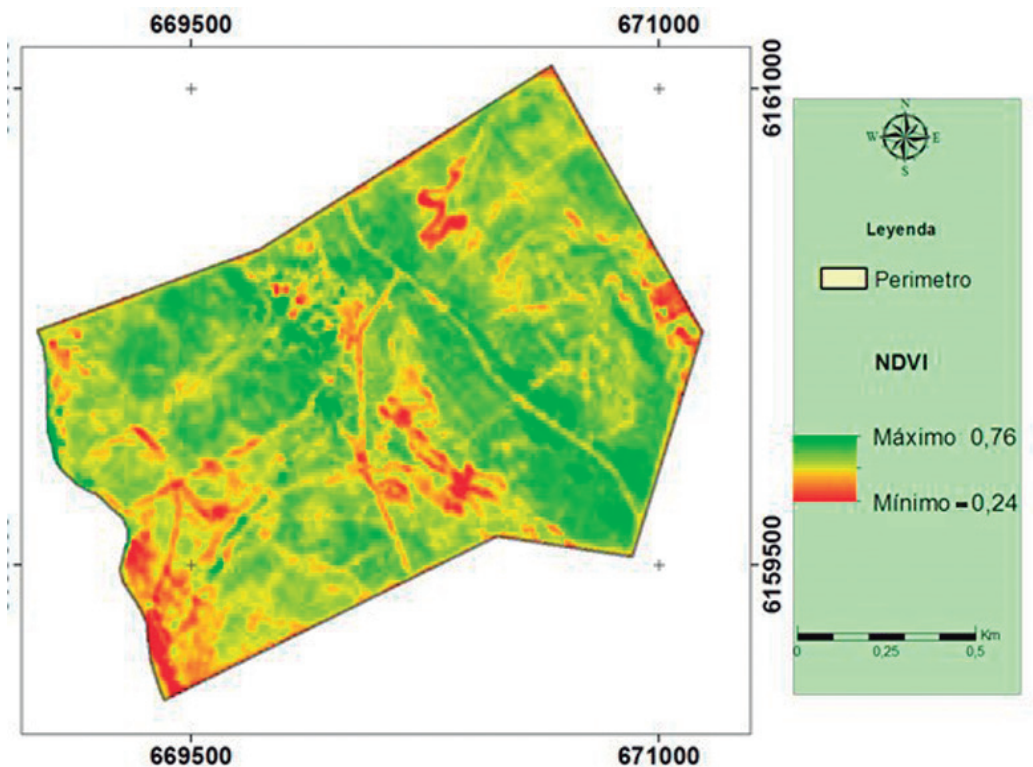


Figura 6. Mapa de índice verde (NDVI) resolución espacial 10 m.

### II.1.4 Mapas para la obtención del Mapa de suelos

Como se indicó en materiales y métodos se elabora a partir de los tipos de suelos reconocidos a campo en el área de estudio, información preexistente, imágenes satelitales de diferentes fechas (previo y luego de la plantación), mapa de curvas de nivel, mapa de índice verde (NDVI).

#### III.1.4.1 Mapa de índice verde (NDVI)

En la Figura 6 se muestra la diferente actividad fotosintética de la vegetación herbácea y arbustiva. Se aprecia color **rojo** en zonas de muy escasa cobertura vegetal y/o afloramientos rocosos, cami-

nos internos y donde la erosión no permite el establecimiento de la vegetación. Los tonos **verde claro y amarillo**, pueden estar denotando problemas de sanidad en la cubierta vegetal y/o en la fertilidad edáfica, como así también puede asociarse a estados fenológico avanzados (desde floración a senectud). El color **verde más oscuro**, se asocia con vegetación en crecimiento vigoroso.

#### III.1.4.2 Mapa de curvas de nivel

En la Figura 7 se presentan las curvas de nivel con una equidistancia de 5 metros, las curvas se superponen a una imagen de mediana resolución. El conjunto, permite detectar claramente aque-

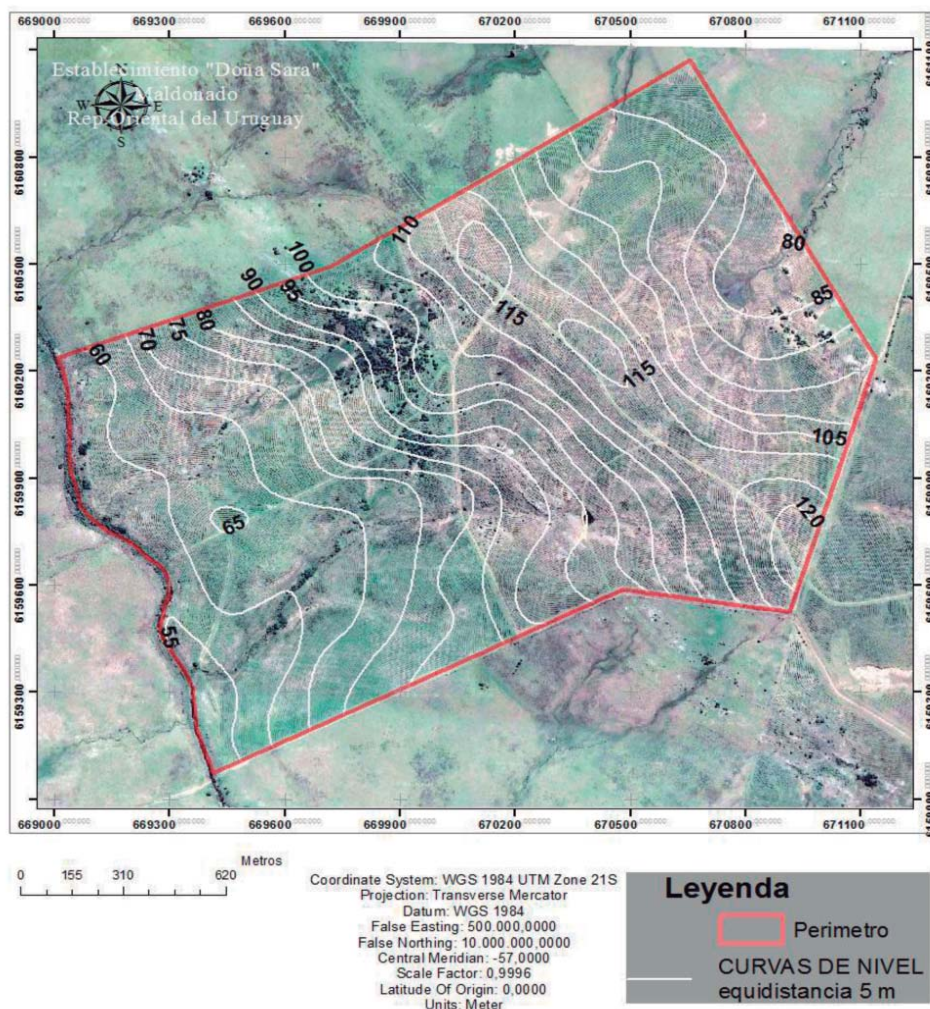


Figura 7. Curvas de nivel en el establecimiento «Doña Sara» (equidistancia 5 m) sobre imagen en tonos de grises capturada desde Google earth.



llas zonas que actúan como vías de escurrimiento. Esquemáticamente, las vías de drenaje principales, quedan representadas con **líneas azules**; la divisoria de aguas que cruza por las cotas máximas del predio (115 y 120 metros) se representa en **color rojo**, y tiene dirección NO/SE. Al producirse una precipitación, el agua que no infiltra, escurre superficialmente, hacia un lado u otro de la línea divisoria de aguas. Las vías de drenaje superficiales reciben y retiran el agua del predio en la dirección que indican las flechas azules (Figura 7). Esta agua, proviene de la precipitación y del agua subterránea. Las alturas mínimas del predio, se hallan en torno a los 50 metros, que corresponde a la línea de drenaje que se observa en la parte inferior izquierda de la imagen.

**III.1.4.3 Modelo numérico de elevación digital**

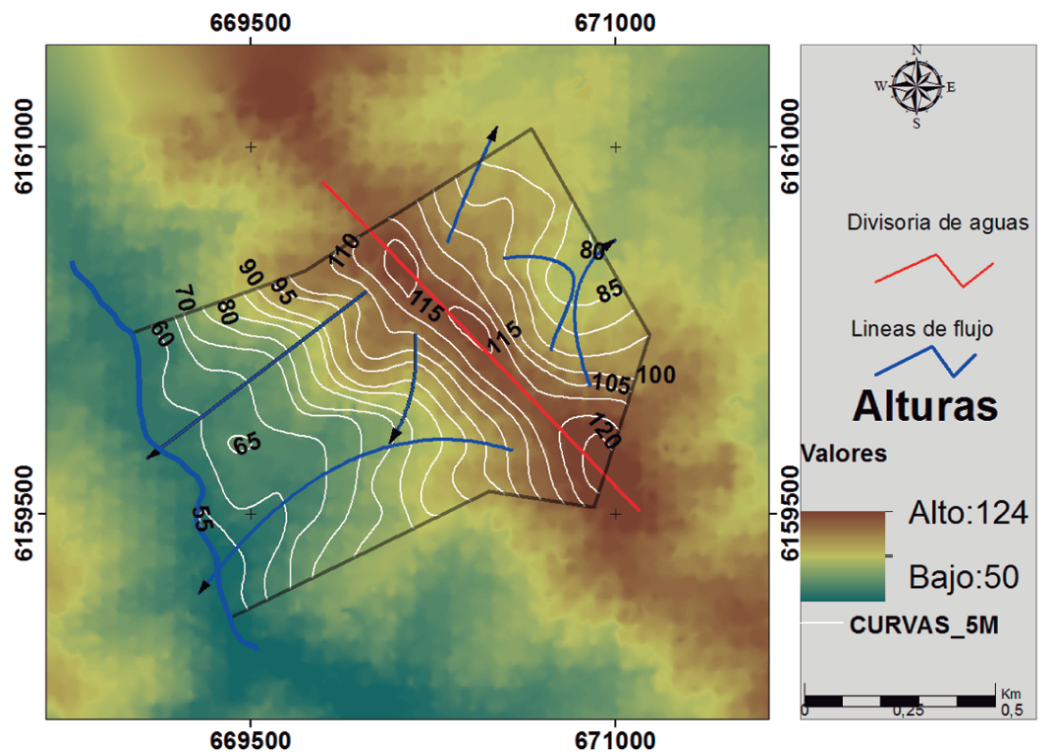
En la Figura 8 se presenta un mapa elaborado a partir de datos brindados por el satélite Alos, sensor Palsar. Los valores numéricos representan alturas y son expresados mediante colores a fin de

lograr una mejor percepción de alturas. La utilización del color, permite mejorar la comprensión de la topografía. A partir de los datos numéricos, operando con herramientas SIG, se obtienen las curvas de nivel. La figura presenta los mismos símbolos, presentados anteriormente, la divisoria de aguas en rojo y sobre sus flancos, en azul, las líneas de drenaje.

**II.1.5 Mapa de Suelos**

En la Figura 9 se presenta la distribución de suelos a nivel de subgrupo (Soil Taxonomy, 2010) conforme se describió precedentemente (grupos de suelos) en el establecimiento en estudio.

Como se indicó en materiales y métodos, el mapa de suelos fue generado mediante un proceso de síntesis de la información que se obtiene en las diferentes instancias de recopilación informativa en la zona de estudio, procesamiento de imágenes satelitales, obtención de fotografías aéreas y otros medios de captura de datos mediante sensores, descripciones y muestreos de suelo a campo y su posterior análisis en laboratorio, generando así un entendimiento



**Figura 8.** Modelo numérico de elevación digital obtenida a partir de datos imagen brindados por el satélite Alos, sensor Palsar 12.5 m de resolución espacial

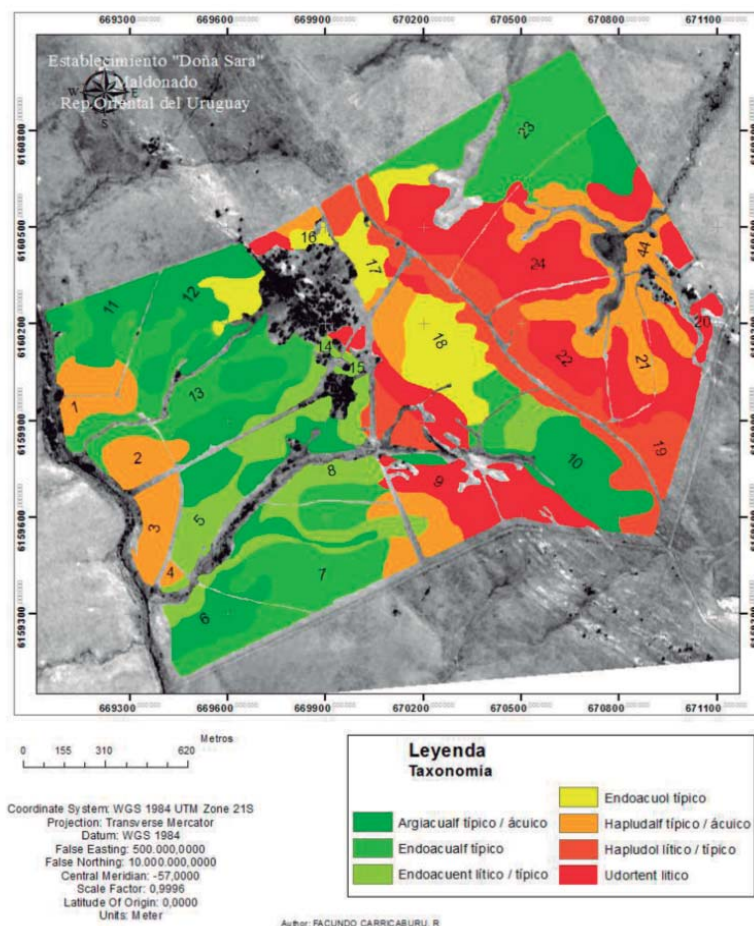


Figura 9. Mapa de suelos generado a escala 1/15000.

general del sistema que se considera en la cartografía generada.

Se destaca que la consideración inicial para su elaboración, son las descripciones morfológicas y analíticas del suelo en las 31 parcelas estudiadas, y la calidad de agua del predio en diferentes sitios (funcionamiento del agua superficial y subterránea), asociando esto con la superficie del terreno, tonos, texturas de las imágenes procesadas, considerando también impedancias físicas como afloramientos rocosos.

En la Tabla 20 se sintetiza a partir de la base de datos generada los tipos de suelo que integran cada uno de los rodales y la superficie que cada uno ocupa dentro de estos. La unidad mínima cartografiada utilizada para la representación de tipos de suelos por rodal, es de 0,1 ha (1000 m<sup>2</sup>). Superficies menores se fusionaron con los suelos inmediatamente cercanos y de mayor superficie.

En base a dicha Tabla 20, se aprecia que no se observa una clara asociación entre los suelos que se reconocieron en el presente estudio con los rodales considerados, incluyendo estos suelos con limitantes edáficas diferentes. Así por ejemplo puede indicarse el rodal 17 que tiene 1,8 ha de suelo *Hapludol lítico*, suelo poco desarrollado cuya principal limitante es la presencia de un contacto lítico próximo a la superficie, 2,2 ha de *Endoacualf típico* cuya principal limitante es el hidromorfismo; y con muy escasa representación areal el suelo *Udortent lítico* que si bien podría asociarse al mencionado en primer término dado que también es lítico y de escaso desarrollo, este presenta mucho menor contenido de materia orgánica, y el *Hapludalf típico*, que es un suelo más desarrollado, llegando a reconocerse un Bt arcilloso.

Igualmente en los rodales 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23,

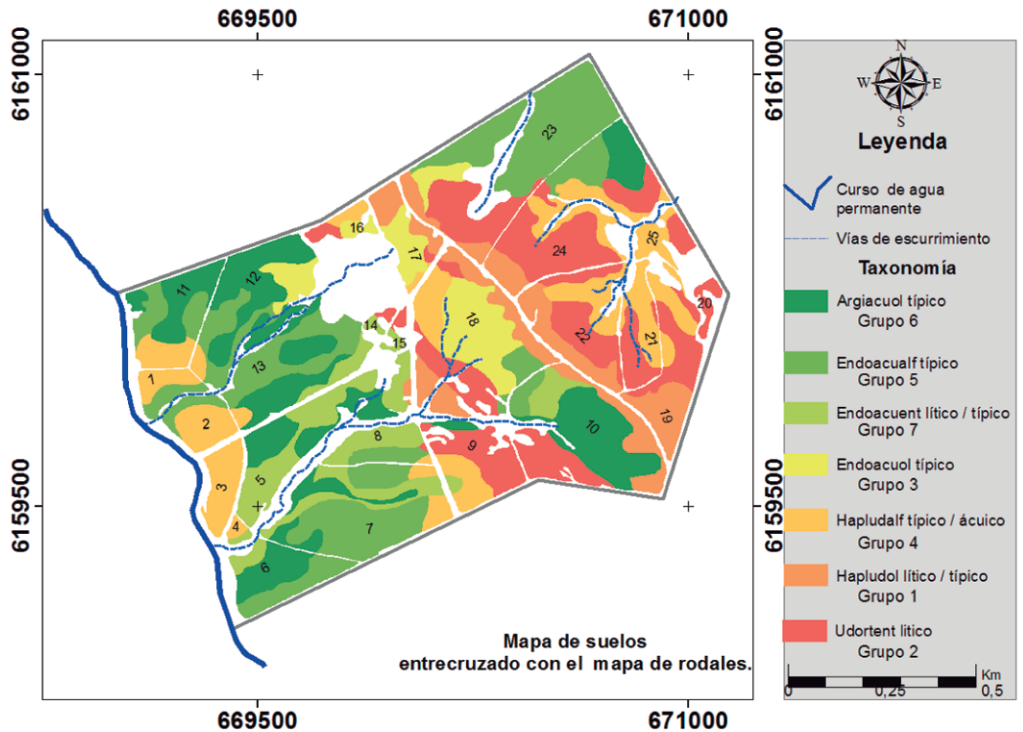


Figura 10. Distribución de suelos en rodales (superposición del Mapa de suelos a nivel de subgrupo sobre Mapa de rodales).

24 y 25, se incluyen suelos con problemas de hidromorfismo como principal limitante con y sin desarrollo de suelo, o suelos sin hidromorfismo y escaso desarrollo. Por el contrario los rodales 1, 2, 3, 11, 12, están integrados cada uno de dichos rodales por suelos con semejantes características, e incluso todos los rodales entre si (suelos bien desarrollados y con hidromorfismo).

#### IV CONCLUSIONES

##### Tipos de suelo

En las parcelas estudiadas se describen **suelos clasificados** como Hapludol lítico y típico (3 parcelas, grupo 1), Udortent lítico (5 parcelas, grupo 2), Endoacuol típico (3 parcelas, grupo 3), Hapludalf típico (3 parcelas, grupo 4), Endoacualf típico (4 parcelas, grupo 5), Argiacuol típico y Argiudolácuico (8 y 2 parcelas respectivamente, grupo 6), Endoacuent lítico y típico (2 parcelas, grupo 7).

##### Suelo, paisaje y drenaje

Las parcelas estudiadas, se ubican en un **relieve general pronunciado**, con sierras, colinas y lomadas, que contienen ambientes cóncavos, planos (zonas de interfluvio), bajos y concavidades, principalmente próximos a las vías de escurrimiento las cuales se presentan en variada magnitud y calidad (diferente origen).

La **altitud** respecto al nivel del mar varía entre 60 y 122 m snm, con **pendientes** entre un mínimo de 1,5% hasta máximo de 17%, prevaleciendo las pendientes superiores a 5%, consecuentemente los **escurrimientos generales** son entre moderadamente rápidos a rápidos. Sin embargo, las parcelas han sido ubicadas en sectores más planos dentro de la pendiente general mayor, con cobertura vegetal en general del 100%, disminuyendo marcadamente el **escurrimiento local**.

Los suelos **han evolucionado** a partir de variados **materiales geológicos** y presentan diferente grado de alteración

**Tabla 20.** Suelos en cada uno de los rodales.

Rodal	Taxonomía	t <sub>13</sub>	Rodal	Taxonomía	t <sub>13</sub>	Rodal	Taxonomía	t <sub>13</sub>	Rodal	Taxonomía	t <sub>13</sub>
1	Hapludalf típico / ácuico	1,4	8	Udortent lítico	0,1	13	Hapludalf típico / ácuico	0,4	19	Hapludol lítico / típico	3
	Endoacualf típico	1,1		Hapludalf típico / ácuico	0,1		Endoacualf típico	5,3		Udortent lítico	0,4
2	Hapludalf típico / ácuico	2,6	9	Endoacualf típico	1,3	14	Argiacualf típico / ácuico	0,4	20	Udortent lítico	2,8
	Endoacualf típico	1		Endoacuent lítico / típico	2,3		Argiacualf típico / ácuico	1,5		Hapludalf típico / ácuico	2
3	Hapludalf típico / ácuico	3,1	10	Udortent lítico	3,8	15	Argiacualf típico / ácuico	2,8	21	Udortent lítico	0,8
	Hapludalf típico / ácuico	0,3		Hapludalf típico / ácuico	2,1		Endoacuent lítico / típico	0,3		Udortent lítico	2,1
4	Endoacuent lítico / típico	0,2	11	Argiacualf típico / ácuico	0,4	16	Udortent lítico	0,2	22	Hapludalf típico / ácuico	2,4
	Hapludol lítico / típico	0,2		Endoacuent lítico / típico	0,3		Endoacualf típico	0,6		Hapludol lítico / típico	3,1
5	Argiacualf típico / ácuico	2	12	Hapludol lítico / típico	2,8	17	Udortent lítico	0,2	23	Udortent lítico	4,2
	Argiacualf típico / ácuico	2,2		Udortent lítico	3,1		Endoacuent lítico / típico	0,3		Hapludalf típico / ácuico	2,7
6	Endoacuent lítico / típico	6,4	13	Endoacualf típico	1	18	Udortent lítico	0,5	24	Hapludol lítico / típico	1,4
	Endoacualf típico	2,6		Argiacualf típico / ácuico	7,3		Endoacualf típico	0,6		Udortent lítico	4,5
7	Argiacualf típico / ácuico	3	14	Endoacuent lítico / típico	1,7	19	Hapludalf típico / ácuico	0,6	25	Endoacualf típico	1,2
	Endoacuent lítico / típico	0,8		Hapludalf típico / ácuico	1,8		Hapludol lítico / típico	1,8		Endoacualf típico	12,7
8	Hapludalf típico / ácuico	1,2	15	Endoacualf típico	1	24	Udortent lítico	0,1	25	Hapludol lítico / típico	1,4
	Endoacualf típico	8,6		Endoacualf típico	1,4		Endoacualf típico	2,2		Udortent lítico	8,3
9	Argiacualf típico / ácuico	0,9	16	Argiacualf típico / ácuico	0,4	25	Hapludalf típico / ácuico	0,2	25	Hapludalf típico / ácuico	3,5
	Argiacualf típico / ácuico	1,5		Argiacualf típico / ácuico	3,2		Hapludol lítico / típico	0,8		Endoacualf típico	2,3
10	Endoacuent lítico / típico	3,2	17	Endoacualf típico	1,8	25	Hapludol lítico / típico	0,9	25	Argiacualf típico / ácuico	2,5
	Endoacualf típico	3,2		Hapludalf típico / ácuico	0,5		Hapludol lítico / típico	2,5		Udortent lítico	0,8
11	Hapludalf típico / ácuico	1,5	18	Endoacualf típico	2,9	25	Udortent lítico	3,1	25	Hapludalf típico / ácuico	1,4
	Endoacuent lítico / típico	3,2		Argiacualf típico / ácuico	7,1		Endoacualf típico	6,9		Hapludalf típico / ácuico	2,2
12	Hapludalf típico / ácuico	1,4	19	Argiacualf típico / ácuico	1,3	25	Endoacualf típico	1,3	25	Endoacualf típico	1,3
	Endoacualf típico	1,4		Endoacualf típico	1,3		Endoacualf típico	1,3		Endoacualf típico	1,3

que incide en el crecimiento y profundización radicular. Esta alteración se asocia al tipo y composición del material original, y la forma en que participa el resto de los factores formadores del suelo (posiciones locales, incidencia de flujos de agua, tiempo transcurrido).

Los suelos presentan variado grado de desarrollo (horizontes), profundidad efectiva para el desarrollo de la vegetación, fertilidad física (drenaje), y en menor medida fertilidad química (nutrientes).

La **permeabilidad** varía entre rápida a moderadamente rápida hasta lenta a muy lenta. En el primer caso asociado principalmente a suelos entre moderadamente profundos a profundos con texturas gruesas, elevada rocosidad o pedregosidad, y en el segundo caso, a texturas finas (elevada proporción de arcillas) y/o impedancias mecánicas.

En un corte vertical del terreno dentro de cada parcela, en ocasiones se presentan diversos materiales geológicos (discontinuidades litológicas) que generan cambios en la **permeabilidad edáfica** y en la dirección del agua que infiltra y que descarga en otra zona o se constituyen en impedimentos al paso de dicha agua, acumulándose sub-superficialmente (recarga que no descarga en otro sitio). Así, en algunas de las parcelas ubicadas en posiciones topográficas más elevadas a nivel regional y local (>80-100 msnm), se observaron características hidromórficas en los suelos e incluso hasta se encontraban mojados sin que esto se corresponda con las precipitaciones acaecidas.

### Flujos de agua superficial y subterránea

Se reconocen **zonas de recarga y descarga de flujos de agua subterránea**, en general de corto recorrido y en pocos casos generados a mayor distancia (mayor pH del agua freática y/o vías de escurrimiento). En las **zonas de recarga**, el flujo de agua que infiltra es descendente y es favorecido si las pendientes del terreno permiten su permanencia en superficie y si el perfil edáfico tiene de moderada a elevada permeabilidad, en

estos casos no hay hidromorfismo. Por el contrario, en las zonas de **descarga**, el flujo es ascendente y la presión de ascenso está definida por la profundidad y distancia donde el flujo recarga (a mayor distancia y profundidad mayor gradiente hidráulico y mayor presión en la descarga) y de las características de los materiales del suelo (texturas más finas mayor ascenso capilar), generándose en todos los casos rasgos hidromórficos (moteados de Fe/Mn y superficie freática próxima a la superficie). En muchas parcelas la superficie freática se encuentra muy próxima a la superficie del terreno.

El agua desde  **cursos de agua** próximos a las parcelas pueden actuar como **influentes** (aportan agua) o **efluentes** (reciben agua) dependiendo del nivel de los cursos de agua y de las superficies freáticas vecinas.

Las parcelas más bajas topográficamente a nivel regional (próximas a 60-70 m snm), funcionan principalmente como **zonas de descarga** de flujos de agua, posiblemente de tipo local, cuyas recargas se ubican en posiciones topográficas más elevadas, y agua proveniente de vías de escurrimiento (subterránea surgente y de escurrimiento).

### Limitantes suelos y ambiente

En base a lo indicado respecto al escurrimiento, permeabilidad, comportamiento de las superficies freáticas y vías de escurrimiento próximas, el **drenaje local** varía desde excesivamente drenados a pobremente drenados a mal drenado.

En todos los sitios estudiados como **limitantes químicas en superficie** prevalece un pH fuertemente ácido y en menor medida ácido, con muy bajos contenidos de P con muy pocas excepciones donde se mide un contenido medio. Prevalece una baja a muy baja saturación de bases y de cationes (pocos sitios contenidos medios), que se corresponde con los pH comentados.

El contenido de **materia orgánica** es entre moderadamente rico a muy rico, en general superior a 3 con máximos de 5,9 % y en menor medida contenidos entre 2 y 2,9 %. En algunas parcelas,

aún con alto contenido de materia orgánica, horizonte A profundo, se midieron bajas producciones debidas al **elevado hidromorfismo**. Consecuentemente, la resultante del contenido de materia orgánica y espesor del horizonte A sobre la producción depende si la zona funciona como recarga o descarga de flujos de agua, y de su calidad.

En algunos perfiles edáficos, a mayor profundidad se incrementa el pH, y se asocia a la incidencia del agua subterránea. Independientemente de su calidad, el aporte de agua resulta con frecuencia excesivo y genera condiciones de anaerobiosis e hidromorfismo en variada magnitud.

En el sitio de estudio, el **hidromorfismo** es la limitante edáfica que principalmente condiciona la vegetación herbácea (tipo y producción), y arbórea (número de árboles, producción de madera), y es característico de zonas de descargas de flujos de agua.

### **Suelo, agua, ambiente y producción de madera**

Los **suelos ubicados en zonas de recarga**, aun con muy escaso desarrollo y someros, pueden presentar muy alta productividad, generalmente asociado a altos contenidos de materia orgánica y elevada alteración de los materiales geológicos. Sin embargo, debido a la baja retención hídrica son más dependientes de las precipitaciones locales. Asimismo, pueden acumularse excesos hídricos por impedancias mecánicas.

Son tres las **variables que principalmente inciden en la producción vegetal**: grado de hidromorfismo, altura topográfica regional e incidencia de flujos locales de zonas más altas y/o de flujos de mayor recorrido de vías de escurrimientos.

Se aprecian **efectos locales y regionales** que inciden en la productividad la cual está fuertemente condicionada por el elevado hidromorfismo, pero en posiciones más elevadas a nivel regional podrían generar microclimas que modifican la magnitud del efecto del hidromorfismo sobre la vegetación.

### **Distribución de suelos, limitantes edáficas y rodales**

Los grupos de suelos reconocidos se encuentran distribuidos en un patrón de distribución relativamente complejo asociado a diferentes materiales originales, grado de evolución, y principalmente al drenaje local y regional. Esto queda claramente expresado en la cartografía edáfica que resulta de variados procesamientos de imágenes satelitales, reconocimiento de suelo y agua a campo, y de la productividad resultante.

La distribución de grupos de suelo en la cartografía edáfica generada, no se asocia en forma directa con los rodales definidos en el sitio de estudio. En la mayoría de los rodales se incluyen suelos con características y limitantes diferentes. Sólo los rodales 1, 2, 3, 11, y 12 están integrados por suelos con semejantes características, e incluso todos los rodales entre sí (suelos bien desarrollados y con hidromorfismo).

La discrepancia observada entre rodales y grupos de suelo, puede deberse a que si bien los suelos inciden de manera directa en la productividad de las tierras, principalmente el hidromorfismo, otras condiciones extraedáficas también definen la aptitud productiva del área de estudio, destacándose condiciones microclimáticas (exposición, temperaturas, heladas), aspectos a ser considerados en futuros trabajos.

## **V REFERENCIAS**

- Altamirano A, da Silva H, Durán A, Echeverría A, Panario D y Puentes R. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo 1 – Clasificación de Suelos. Ministerio de Agricultura y Pesca – Dirección de Suelos y Fertilizantes. 98 p.
- Bossi J, Gaucher C, Chiglino L, Navarro R, Piñeiro D. 2014. Escama Tectónica Carapé. En: Bossi J, Gaucher C. Ed Geología del Uruguay. Tomo 1: Predevónico. Polo, Montevideo. Cap. 13: 265-282.
- Cueto G. 2005. Estudio de las relaciones sitio-especie para *E. globulus* ssp. *globulus* en parada Arteaga, departamento de Florida. Tesis Ing. Agr. Mon-

- tevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 106 p.
- Durán A. 2000. La cartografía de suelos CONEAT y sus posibilidades de utilización. Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p. <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/direccion-general-de-recursos-naturales/suelos/coneat/grupos-coneat>
- Durán A, Califra A y Molfino JH. 1999. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy 14p. [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1615\\_suelos\\_del\\_uruguay\\_segun\\_soil\\_taxonomy\\_0.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1615_suelos_del_uruguay_segun_soil_taxonomy_0.pdf)
- Durán A y García F. 2007a. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. T1, 334 p.
- Durán A y García F. 2007b. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. T2, 358 p.
- Durán A, Califra A, Molfino JH y Lynn W. 2006. Keys to Soil Taxonomy for Uruguay. United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 77 p.
- FAO. 1976. A framework for land evaluation; soil resources development and conservation service. Rome. 88 p. FAO, Soil Bulletin N°32. <http://www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilripublicaties/publicaties/Pub22/pub22.pdf>
- Iberpapel. 2012. Informe de Aptitud Forestal. Informe Interno s/p, 48 pág.
- MGAP-CONEAT. 1979. Ministerio de Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria. Uruguay. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. T3, 95 p. y T2, 80 p.
- MGAP - Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Dirección General de Recursos Naturales Renovables y Comisión Nacional de Estudio Agroecológico de la Tierra. 1994. Índice de Productividad Grupos CONEAT. 94 p.
- Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo. T.1, 83 p.
- Molfino A y Califra A, 2004 en <http://www.cebra.com.uy/renare/mapa/cartas-tematicas/>
- Prichett, W. 1986. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. México, D.F., Limusa. 634 p.
- Prieto González P. 2011. Base cartográfica para el desarrollo de una metodología de monitoreo de propiedades físicas y químicas de suelos forestales. Tesis de grado, Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. 110p.
- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la Taxonomía de suelos. USDA, Departamento de Agricultura USA. Traducción 2007. Ortiz C y Gutierrez MC, 331p.
- Tóth, J. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas procesos y manifestaciones. Boletín Geológico y Minero, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 8:49-26.

**ANEXO 1 - Resumen suelos por estrato y Sistemas (S3 y S4) en diferentes parcelas (P) relevadas**
**ESTRATO 1**

Características	S4 P330	S4 P328	S4 P325	S4 P314
Grupo Coneat	2.21	2.21	entre 2.11a y 2.21	2.21
Ubicación en estudios previos	Área de lomadas y lomadas fuertes con pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo <b>UA1</b>	Área de lomadas y lomadas fuertes, pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo <b>UA1</b>	Área de sitios bajos, cóncavos, vías de drenaje y cañadas. <b>UA4</b>	Área de lomadas y lomadas fuertes, pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo <b>UA1</b>
Posición topográfica	Ladera media baja	Ladera baja	Ladera baja	Lomada Plana
Pendiente	6%	6%	3%	3%
Altura m snm				
Productividad árboles m <sup>3</sup> /ha	Media 6,3 m <sup>3</sup> /ha	Baja 3,0 m <sup>3</sup> /ha	Baja 2,5 m <sup>3</sup> /ha	media alta 10,0 m <sup>3</sup> /ha
régimen	acuico	acuico	acuico	
Textura perfil	FAcL – Ac (gravillas en Bt)	FAcL – Ac (gravillas ab. desde A)	Mucha gravilla alterada	AcL-Ac con gravillas
Permeabilidad (estimada por textura)	3,8 – 7 mm/h Moderadamente lenta a lenta	3,8 – 7 mm/h Moderadamente lenta (gravillas la mejoran)	Moderadamente lenta pero con presencia de gravillas abundantes	moderada a moderadamente lenta 3,8 – 7 mm/h mejora por gravillas
moteados	abundantes a partir de 35 cm	a partir 20 cm, abundantes en base del BC		A partir de 61 cm
Drenaje	Moderadamente bien drenado a imperfecto	Moderadamente bien drenado	Funciona como zona de descarga de áreas más altas	Moderadamente bien drenado a imperfecto
AD (mm)	123,8 mm hasta 90 cm	119,8 mm hasta 87 cm		107 mm hasta los 79 cm
Tipo de suelo USDA	<i>Endoaqualf típico o mólico</i>	<i>Endoaqualf típico o mólico</i>	<i>Entisol</i>	<i>Argiudol ácuico / Ultisol</i>
Tipo suelo ROU	<i>Brunosol Subeutrico Típico</i>	<i>Brunosol Distrito Típico</i>	<i>Inceptisol Ocrico Distrito</i>	<i>Brunosol distrito argisol</i> Chequear color puede ser



**ESTRATO 2**

Características	S4 P312	S4 P332	S3 P32
Grupo Coneat	2.21	2.21	2.21
Ubicación en estudios previos	lomadas y lomadas fuertes con pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo UA1	lomadas y lomadas fuertes con pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo UA1	de lomadas y lomadas fuertes con pendiente dominante entre 2,5 y 5%, se corresponde con suelo UA1
Posición topográfica	Alto plano	zonas bajas con acumulaciones de agua	Loma convexas
Pendiente	15%	5%	8%
Altura m snm			
Productividad árboles m <sup>2</sup> /ha	media 9,2 m <sup>3</sup> /ha	Baja 2,9 m <sup>3</sup> /ha	Alta 22,3 m <sup>3</sup> /ha
régimen			
Textura perfil	FAcL – Ac	acuico FAcL – Ac	FAc – Ac gravillas abundantes en BC
Permeabilidad (estimada por textura moteados)	3,8 – 7 mm/h Moderadamente lenta a partir de 60 cm (B <sub>2</sub> ), abundantes	3,8 – 7 mm/h Moderadamente lenta – lenta a partir de 30 cm (B <sub>1</sub> ), abundantes	3,8 - 6,4 mm/h moderada comunes en BC
Drenaje	Moderadamente bien drenado a imperfecto	Moderadamente bien drenado a imperfecto	Moderadamente bien drenado
AD (mm)	138 mm hasta 100 cm	123 mm hasta 90 cm	103,2 mm hasta 75 cm
Tipo de suelo USDA	Hapludalf típico	Endoaqualf típico	Hapludalf típico
Tipo suelo ROU	Argisol subeutrico	Brunosol distrito	Argisol subeutrico

**ESTRATO 3**

Características	S3 P23	S3 P25	S3 P29	S3 P16	S3 P17	S3 P18	S3 P20
Grupo Coneat	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
Ubicación en estudios previos	suelo no se corresponde con suelo ppal de UA2	suelo no se corresponde con suelo de UA2	se corresponde con suelo UA3	se corresponde con suelos UA2	se corresponde con suelos UA2	En UA2, próximo a suelo de UA3	suelo no se corresponde con suelo ppal de UA2
Posición topográfica	Loma convexas con pendiente 2-5%, ambiente general de lomadas fuertes y colinas 5-11% * pendiente 5-11%	Loma plana en ambiente general de lomadas fuertes y colinas 5-11% *	Colinas, pendientes largas, abundante pedregosidad, pendiente entre 5 y 12 %, rocosidad que intercala con suelos profundos	Sectores ligeramente cóncavos y planos en área de lomadas fuertes y colinas con pendiente entre 5 y 12 %.	áreas planas en lomadas fuertes, pendiente entre 5 y 12 %.	Loma plana, lomadas fuertes, pendiente entre 5 y 12 %, abundante pedregosidad	Loma plana, pendiente 1 %, en área general de lomadas fuertes pendiente 5-11%
Pendiente	9%	3%	9 %	17%	2 %	14 %	7%
Altura m snm	122	122					
Productividad árboles m <sup>2</sup> /ha/año IMA	Alta 14,3 m <sup>2</sup> /ha	Alta 13,1 m3/ha	media alta 10,1 m3/ha	media 4,7 m <sup>2</sup> /ha	Alta 12,1 m <sup>2</sup> /ha	Alta 12,2 m <sup>2</sup> /ha	Alta 14,9 m <sup>2</sup> /ha
régimen							
Textura perfil	FACl con gravillas	FACl – FAC	F con gravilla	acuico FACl - Ac con gravillas finas	acuico FACl - Ac	FL – Ac con gravas y gravilla fina	AcL con pedregosidad
Permeabilidad (estimada por textura)	6,4 – 12,5 mm/h Moderadamente rápida a rápida	7 – 12,5 mm/h Moderadamente rápida a rápida	8,9 mm/h Moderadamente rápida a rápida	moderadamente lenta 2 – 6,25 mm/h mejor por gravillas	Lenta 3,8 – 7 mm/h	Moderadamente lenta, 3,8 – 7,6 mm/h	
moteados				Hidromorfismo elevado?	Hidromorfismo elevado?	Moteados abundantes en el A	
Drenaje	Excesivamente rápido, alta pedregosidad y rocosidad	Excesivamente rápido, alta pedregosidad y rocosidad	Excesivamente rápido	Moderadamente bien drenado a imperfecto	Moderadamente bien drenado a imperfecto	Moderadamente bien drenado a imperfecto	
AD (mm)	18 mm hasta 14 cm	39 mm hasta 30 cm	13 mm hasta 10 cm	102 mm hasta los 75 cm	94,4 mm hasta 70 cm	104 mm hasta 80 cm	
Tipo de suelo USDA	Udortent illico	Haplual illico	Udortent illico	Hydracient típico	Hydraquent típico	Hydraquent típico	Udortent illico
Tipo suelo ROU	Litosol subeútrico	Brunosol háptico subeútrico	Litosol ócreo (color) A-CR	Brunosol subeútrico	Brunosol dístico	Brunosol dístico	Litosol subeútrico



# Capítulo 4

## Modelo de Simulación Forestal y Ganadero SIMFORGAN

### INTRODUCCION

En el presente capítulo se presentan las bases del desarrollo de una herramienta informática de apoyo a la toma de decisiones por parte de técnicos y productores. Esta herramienta proyecta el comportamiento de los tres componentes del sistema silvopastoril la producción de madera, la producción forrajera y la evolución de las categorías ganaderas. También se discute el funcionamiento del sistema y sus interacciones.

Para el desarrollo del programa se diseñó primeramente un modelo teórico sobre el funcionamiento de los Sistemas Silvopastoriles, en el entendido que son sistemas complejos en donde las partes interactúan y condicionan la producción en su conjunto.

El trabajo considera los principales resultados de los estudios de caso, ubicados en las zonas Centro-Sur y Sur-Este del Uruguay, presentados en el Capítulo 1. Estos casos incorporaron forestación con ganadería sobre campo natural; de donde se obtuvo información dasométrica en diferentes marcos de plantación. También se colectó información sobre producción de materia seca bajo dosel para los casos de estudio así como también mediciones durante los tres años sobre radiación solar dentro y fuera de los montes estudiados. Los re-

sultados obtenidos así como la bibliografía consultada permitieron el desarrollo de un modelo teórico utilizado para la construcción de un simulador de silvopastoreo para las condiciones de Uruguay.

Los componentes forestal, forrajeo y animal, presentan diferentes interacciones biofísicas que afectan la productividad final del sistema; cada uno presenta ciclos productivos de diferente duración en el tiempo; en el caso del componente forestal la duración del ciclo es cercana a los diez años para la primer cosecha de madera, en el componente animal el ciclo de engorde o ganancia de kilos puede variar de 18 a 30 meses y el ciclo de producción de forraje es anual y además tiene un comportamiento productivo que varía en forma estacional.

Las etapas biológicas de desarrollo y crecimiento de los componentes también son diferentes y provocan cambios en las interrelaciones a medida que avanzan cronológicamente. A modo de ejemplo una vez implantado un cultivo forestal (Diagrama 1) se debe esperar un tiempo cercano a los dos años para introducir animales en el monte para evitar daños en las plantas jóvenes, por otro lado el desarrollo de la copa de los árboles que proyecta la sombra sobre la superficie, tiene un máximo valor cuando se alcanza el cierre del dosel -aproximadamente a



Diagrama 1. Los diferentes ciclos forestal, animal y pastura que forman parte del Sistema

los cinco años- y luego se estabiliza hasta el final de la cosecha.

Los animales cumplen varios ciclos productivos dentro de un turno forestal, por lo que debemos considerar que una vez alcanzado su peso objetivo, deben ser reemplazados por otro lote, como se explicará más adelante. A su vez esos nuevos animales ingresan a un sistema que presenta diferencias con respecto al estado original ya que la superficie, la densidad y la luz que llega al suelo, es diferente en etapas posteriores.

Para la construcción del modelo teórico se determinaron las principales relaciones entre los componentes que afectan a la productividad del sistema. En la mayoría de los casos las interacciones tienen un comportamiento bidireccional favoreciendo por un lado una variable y por otro, disminuyendo el desarrollo de otra. Por ejemplo el aumento de la canti-

dad de árboles - dentro de cierto límite - favorece la producción de madera siendo un resultado positivo mientras que por otro lado, reduce la producción de pasto bajo dosel lo que afecta la carga ganadera. La sombra proyectada puede disminuir la producción de pasto mientras que mejora el confort térmico para los animales.

En el Diagrama 2 se presenta un modelo teórico sobre el funcionamiento de los componentes y posteriormente las principales interacciones que afectan la productividad del sistema silvopastoril.

Las Principales interacciones resultantes analizadas se detallan a continuación:

**Oferta de forraje (kgMS/ha):** es el resultado de la interacción entre la superficie efectiva de pastoreo, la producción en kg/MS/día según la esta-

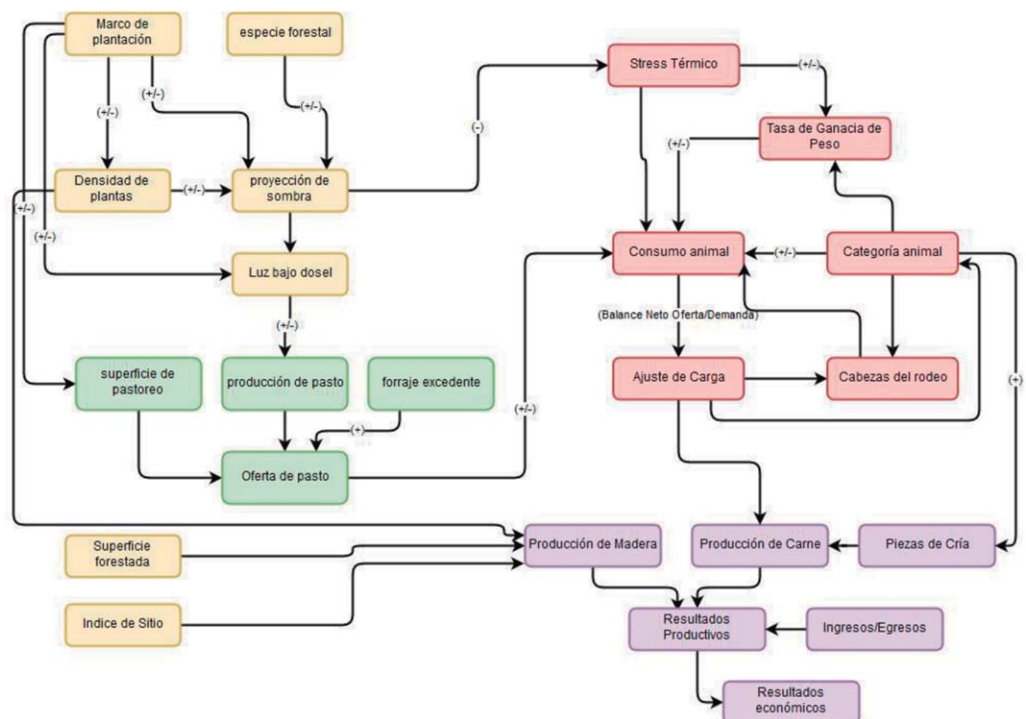


Diagrama 2. Diagrama de Flujo y principales interacciones del Sistema.

ción, la cantidad de días correspondientes a esa estación, considerando el momento de inicio y fin de la proyección del modelo. Además incide en la oferta, el área de superficie sombreada y la cantidad de luz que llega al tapiz. También puede incluirse como parte de la oferta un remanente de forraje (stock) de la estación anterior que no haya sido consumido por los animales.

**Superficie efectiva de pastoreo (ha):** es la superficie del potrero menos la superficie ocupada por el bosque. Depende de la densidad de árboles.

**Área de superficie sombreada (%):** es el área de copa de los árboles proyectada sobre el suelo. Depende del marco de plantación que determina la densidad de árboles y su arreglo espacial. También depende de la edad del bosque ya que existe una correlación positiva entre la edad y el tamaño de la copa y la especie forestal (Nunes de Moura et al., 2016). El área de superficie sombreada es la sumatoria de área de copa en la Superficie de pastoreo (Wink et al., 2012), tomando en cuenta el solapamiento de las copas, como se explicara anteriormente.

**Cantidad de luz que llega a la superficie (% luz bajo dosel):** es la diferencia entre la radiación solar fuera del bosque y la luz que es interceptada por la masa forestal. Depende del marco de plantación, de la edad del bosque y de la especie forestal (Duursma & Mäkelä, 2007).

**Producción de madera (m<sup>3</sup>/ha):** es el volumen de madera producido al momento de cosecha del monte forestal. Depende de la densidad, del marco de plantación, de la edad del bosque, de la especie forestal y de condiciones ambientales y características del suelo.

**Peso Animal a la salida de estación (kg/animal):** está dado por el consumo diario de materia seca calculado como un porcentaje del peso vivo (entre 2 y 3%) por la cantidad de días de la estación y por la tasa de ganancia de peso diaria, que también varía en forma estacional. Depende de la categoría animal.

**Tasa de Ganancia (kg/día):** representa el incremento diario en kg de peso del animal (Dieguez Camerón et al., 2012). La ganancia diaria está asociada a factores como la raza (*Bos indicus* mayor tolerancia a temperaturas altas, *Bos taurus* mejor adaptada a condiciones climáticas de Uruguay para ganadería extensiva), la categoría del rodeo y su edad, el estado sanitario y el estado reproductivo que determinan las necesidades y distribución de energía metabólica. También afecta a la tasa de ganancia las características del forraje consumido, la presencia de aguadas, la geografía del terreno y condiciones de confort animal que varían según la temperatura ambiente y la humedad (Simeone, Beretta et al., 2014).

**Carga segura (UG/ha):** es el resultado de dividir la oferta considerando carga segura sobre el cociente entre (PesoUltimo/380). Esto da como resultado la capacidad de carga con el peso real acumulado por estación. Depende de la categoría animal y del peso animal al momento del cálculo.

La herramienta fue desarrollada con un formato web siendo este tipo de plataforma de uso habitual por el público, por otra parte las aplicaciones web permiten expandir su alcance y facilitar el contacto con los usuarios.

El Simulador Forestal Ganadero (SIMFORGAN) brinda al usuario la posibilidad de simular la interacción de los com-



ponentes forestal, animal y forrajero para un predio. Se proyecta el crecimiento de un monte forestal, la interacción con el área disponible para el pastoreo del ganado y su capacidad de carga animal; considerando especialmente la variable marco de plantación.

Para la ejecución del simulador es necesaria cierta información que el usuario deberá ingresar por pantalla. En algunos casos la información es sugerida por defecto, por el propio simulador basado en estándares de uso.

El simulador se encuentra disponible en las siguientes direcciones:

- <http://www.silvopastoreouy.com>
- <http://www.desarrolllofv.com/silvopds>

Desde la página principal es posible descargar el MANUAL DE USO en formato pdf o acceder a un video tutorial en la primera página reseñada (<http://www.silvopastoreouy.com>).

Para su ingreso es necesario estar registrado a través de un mail y una clave que se puede hacer desde su pantalla inicial (Ilustración 1).

**Ilustración 1.** Datos requeridos para poder utilizar el programa

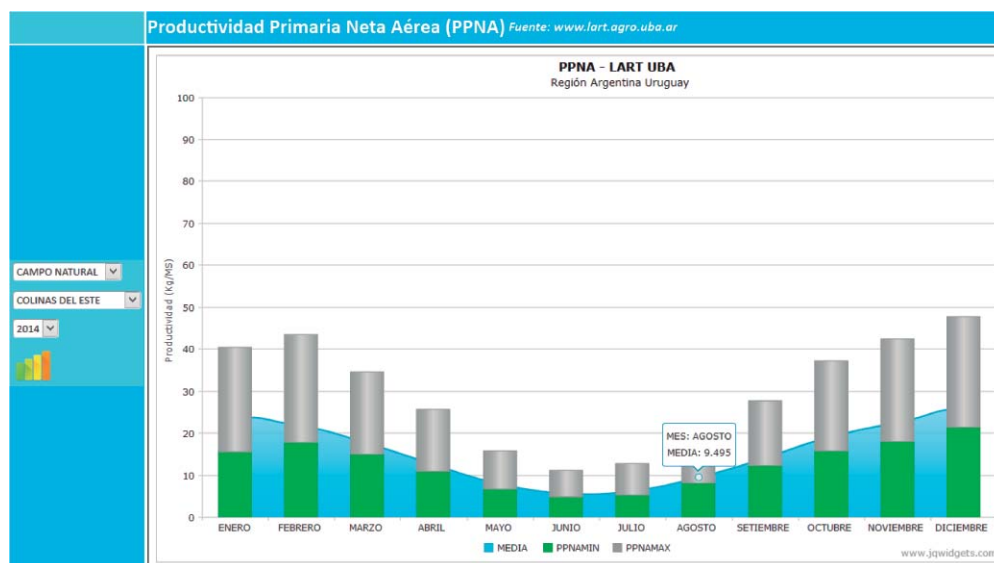
Dentro de los sistemas silvopastoriles se establecen interacciones entre sus principales componentes (bosque - pastura - animal). La herramienta desarrollada intenta representar algunas de esas interacciones y observar cómo afectan la productividad del sistema.

El usuario debe introducir en el software ciertos inputs de su predio tales como superficie total, superficie forestada, edad de la plantación, marco de plantación: diseño, cantidad de filas, distancias en la fila y entre filas, callejones, diámetro a la altura del pecho, altura media dominante. Con esa información y basado en ecuaciones de crecimiento, se simula un crecimiento del bosque para un período solicitado.

En cuanto a los animales, la herramienta requiere como inputs la categoría del rodeo, la dotación en cabezas del predio, el peso inicial, la tasa de ganancia según la estación y una estimación de la tasa de mortandad. El simulador devuelve como salida la capacidad de carga para ese rodeo en el establecimiento en unidades ganaderas (UG). También se devuelve una recomendación de cuál sería la carga real soportada por el sistema en esas condiciones. El Simulador Forestal Ganadero tiene como base para la parte animal la herramienta Megane (Modelo de explotación ganadera extensiva) desarrollado por Ing. Agr. (Phd.) Dieguez F., del Instituto Plan Agropecuario.

La pastura considerada es campo natural; se obtiene información de crecimiento diario para cada estación en kg/MS de la base de datos del Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART UBA, Argentina), que permite seleccionar regiones de Uruguay y presenta los datos de Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA). El Simulador SIMFORGAN también permite utilizar información propia del productor y su predio. Con la información de producción de forraje se estima la oferta mensual (Ilustración 2) y estacional y se compara con los requerimientos animales para establecer la capacidad de carga simulando una presupuestación forrajera.

El crecimiento del bosque afecta a la pastura a través de la proyección de sombra que reduce la cantidad y calidad



**Ilustración 2.** Evolución de la producción de forraje en el potrero forestado.

de luz que llega al tapiz bajo dosel así como también afecta la superficie de pastoreo por el crecimiento de los árboles. Estos factores -espacio y luz - inciden en la cantidad final de forraje disponible y por lo tanto afectan la capacidad de carga.

Finalmente el Simulador permite realizar un análisis económico del sistema devolviendo al usuario información para tres escenarios (Bajo - Medio - Alto) sobre indicadores tales como Margen Bruto Forestal Anual (MBFA) y Valor Actual Neto (VAN).

A continuación se presentan las principales pantallas del simulador y se describe la simulación de crecimiento forestal, la simulación de carga animal basada en el concepto de presupuestación forrajera y los resultados de los casos de estudio para la zona sur este del Uruguay

El simulador cuenta con cuatro módulos relacionados entre sí, que cubren los elementos fundamentales de la producción ganadera integrada a la forestación.

Estos ítems son:

- Proyección forestal
- Oferta forrajera
- Consumo animal
- Análisis económico

### i) Proyección forestal

En la simulación de crecimiento forestal se realiza una proyección según la edad de la plantación ingresada desde edad inicial hasta edad final. El resultado principal es el cálculo de volumen y producción de madera y la estimación de la producción de sombra proyectada por la copa de los árboles para poder evaluar cómo afecta la misma a la producción de materia seca bajo dosel. Esta información es utilizada para el cálculo de forraje disponible y las unidades ganaderas que pueden ser asignadas.

El usuario debe ingresar la especie forestal, el Departamento de Uruguay donde se encuentra el establecimiento, la edad inicial y final del ciclo proyectado (que por defecto se estima en 10 años) pero puede ser modificado, el valor de diámetro inicial a la altura del pecho y la altura media de los árboles dominantes. Se considera una plantación con dos años de desarrollo lo que permite el ingreso de animales para pastorear.

Es necesario indicar el marco de plantación asignado detallando la cantidad de filas, la distancia entre filas, entre hileras y la presencia de callejones. El sistema calcula la cantidad de árboles por hectárea. Debe ingresarse la superficie forestada en el predio.

El simulador utiliza las ecuaciones de proyección dasométricas publicadas por



Proyección forestal	Oferta forrajera	Consumo animal	Resultados ec
Edad de plantación al iniciar simulación	1,00	Distancia ancho callejón (m)	15,00
Edad de plantación al finalizar simulación	10,00	Cantidad de filas	2 Filas
Fecha Inicio de simulación	01/03/2018	Distancia entre filas (m)	3,00
Fecha Fin de simulación	01/03/2027	Distancia árboles en la fila (m)	2,00
Ubicación del predio	FLORIDA	Población (Arb/ha) marco	550
Especie forestal	E. globulus	Mortalidad anual árboles (%)	2,00
DAP medio inicial (cm)	3,00	Superficie forestada (ha)	100,00
Altura media dominante (m)	3,00	Superficie efectiva forestada (%)	80,00
		Superficie efectiva forestada (ha)	80,00

Ilustración 3. Datos a ingresar para proyectar la producción de madera.

INIA (Methol, 2006), para realizar la simulación de crecimiento (Ilustración 3).

Los outputs de este módulo (Ilustración 4) son la cantidad de árboles por ha, el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura media de los dominantes (AMD), el área basal ( $m^2/ha$ ), el área de copa ( $m^2/ha$ ), la edad en meses de la plantación, el porcentaje de superficie sombreada, el volumen de madera ( $m^3$ ) y la espesura del rodal basado en el indicador Fracción de Cobertura Cubierta (FCC).

El modelo estima la proyección de sombra, utilizando información recogida a campo de PAR, interceptación de luz por el dosel y área de copa. Para el cálculo de área de copa se realizaron ecuaciones propias que relacionan la edad de la plantación, el área basal y la altura media dominante.

Se representa la evolución de la sombra de acuerdo al crecimiento de copas. Este indicador está relacionado con el marco de plantación y densidad de árboles por ha. Es posible obtener una salida gráfica del diseño de plantación sobre la hectárea para la edad seleccionada, donde se observa la cantidad de árboles (numerados), la cantidad de filas y los callejones si los hubiera. El objetivo de esta salida es representar gráficamente la densidad de árboles y el crecimiento de la copa y cómo afecta la disponibilidad de forraje a medida que evoluciona la plantación.

Se presentan a continuación dos salidas gráficas para un marco de plantación de doble fila con arreglo de 3x2 y un callejón de 15 metros, para la edad de 6 y 10 años (Ilustración 5 e Ilustración 6) en

ATENCIÓN: la simulación de crecimiento forestal se basa en funciones de producción de Methol, R. (2006)

Methol, R. (2006). Sistema de Apoyo a la Gestión de Plantaciones de Eucalyptus globulus. Revista Inia, 5 Técnica, 34.

Edad	Arboles /ha	DAP (cm)	AMD (m)	AB ( $m^2/ha$ )	Copa ( $m^2/ha$ )	Meses	Sombra %	Madera Volumen ( $m^3$ )	Espesura FCC
1,0	550	3,0	3,0	0,4	202,9	12,0	2,0	0,5	RASA
2,0	539	8,3	6,2	2,9	1.053,9	24,0	10,5	7,3	CLARA
3,0	528	11,3	8,8	5,3	1.811,5	36,0	18,1	18,1	CLARA
4,0	517	13,5	10,9	7,4	2.484,8	48,0	24,8	31,2	CLARA
5,0	507	15,4	12,7	9,5	3.082,1	60,0	30,8	45,7	CLARA
6,0	497	17,0	14,3	11,3	3.610,9	72,0	36,1	61,0	CLARA
7,0	487	18,5	15,7	13,0	4.077,9	84,0	40,8	76,6	ABIERTA
8,0	477	19,8	17,0	14,6	4.489,2	96,0	44,9	92,4	ABIERTA
9,0	467	20,9	18,2	16,1	4.850,2	108,0	48,5	108,0	ABIERTA
10,0	458	22,0	19,2	17,5	5.165,8	120,0	51,7	123,5	ABIERTA

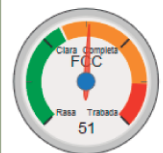


Ilustración 4. Resultado de la evolución de la plantación en variables que afectan la producción bajo dosel.



**Ilustración 5.** Resultado de la simulación a la edad de 6 años.



**Ilustración 6.** Resultado de la simulación a la edad de 10 años.

la cual puede observarse como aumenta el área de copa.

## ii) Oferta forrajera

El objetivo es calcular la oferta de pasto (kg/MS/ha) para Campo Natural y en base al resultado determinar la capacidad de carga animal.

Tanto la oferta forrajera como el consumo animal varían en forma estacional, el sistema calcula la cantidad de días totales y la cantidad de días correspondientes a cada estación del año para todo el período de la simulación (como mencionamos anteriormente, por defecto son diez años).

El simulador trabaja con datos de producción diaria de pasto (kg/MS/día) obtenida en forma satelital a través del proyecto UBA/LART, que brinda informa-

ción de la Producción Primaria Neta Aérea (PPNA) para diferentes regiones del país. Una vez seleccionado el departamento donde se encuentra el establecimiento, se asocia a la región correspondiente al satélite LART y accedemos a la base de datos que cuenta actualmente con información desde el año 2000 a la fecha. Esta información se encuentra promediada naturalmente ya que incluye años buenos, años malos y años de comportamiento estándar.

También podemos utilizar los datos de producción de forraje del predio que estamos analizando. Si el usuario cuenta con esa información, se deben ingresar los rendimientos de kilos de pasto estimado para las cuatro estaciones.

Con la cantidad de días por estación y utilizando valores de oferta de forraje del sistema PPNA (Productividad Primaria Neta Aérea) de LART según la región

seleccionada, se calcula la oferta de forraje.

En el caso que la oferta supere la demanda y exista excedente de pasto, el simulador permite utilizarlo para la siguiente estación como forraje excedente, permitiendo un ajuste de carga.

Los inputs de este módulo son: la región donde se encuentra el establecimiento -que es tomada del Departamento que ya fue ingresado en la proyección forestal -, y con esa información se consulta la base de datos de PPNA y se obtienen los valores de producción de materia seca en campo natural por estación o por día. En caso que el usuario conozca los valores de su establecimiento puede utilizarlos dándole un ajuste mayor a la estimación de oferta final.

Se debe indicar un porcentaje de utilización de materia seca para manejar el concepto de carga segura que pretende ajustar la ecuación de oferta y consumo considerando que hay años en los que se cuenta con stock suficiente y otros en los que hay déficit, motivo por el cual se considera una utilización promedio del 50%.

Se considera una disminución anual del área de pastoreo por el efecto de la presencia de la forestación que se estima en un 3%, pero puede ser modificada por el usuario.




Por último se debe ingresar un porcentaje estimado de la luz que llega bajo

dosel, es decir la luz que atraviesa la copa de los árboles y llega al piso. En base al marco de plantación determinado por el usuario, la presencia o no de callejones y la distancia entre filas, el sistema sugiere un valor de luz que llega a la superficie (Ilustración 7). El porcentaje de área sombreada ya fue calculado en la proyección forestal y es representado aquí en forma estacional para cada año.

Las salidas de este módulo son la producción de materia seca por estación y por hectárea y la oferta para el total de superficie de pastoreo; el área anual disponible para pastoreo; la superficie sombreada y la oferta por hectárea y por estación de materia seca bajo forestación, donde puede observarse la incidencia de la disminución del área y de la sombra (Ilustración 8).

### iii) Consumo animal

En base a la oferta de forraje calculada y el consumo animal estimado, el programa permite determinar la carga ganadera (UG) para las condiciones del establecimiento y predecir situaciones de déficit y realizar ajustes de carga. El usuario debe indicar la categoría animal con la que va a trabajar, el peso inicial y el peso objetivo o final a alcanzar. El software realiza una simulación de ganancia de peso estacional en base a un consumo diario estimado como el 2 a 3%

Forestal	 Oferta forrajera	 Consumo animal	 Res
Pastura (tapiz)	CAMPO NATURAL		
Región PPNA para FLORIDA	CENTRO SUR		
Producción Materia Seca	<input checked="" type="radio"/> Kg por día <input type="radio"/> Kg por estación		
PPNA (promedio 2000 - 2017)	Verano	Otoño	Invierno   Primavera
	0,0	0,0	0,0   0,0
Utilización MS (%)	50 %		
Reducción superficie pastoreo anual %	3 %		
Porcentaje de sombra %	Año 1	Año 2	Año 3   Año 4   Año 5   Año 6   Año 7   Año 8   Año 9   Año 10
	2 %	10 %	18 %   24 %   30 %   36 %   40 %   44 %   48 %   51 %
Luz que llega bajo dosel %	50 %		

**Ilustración 7.**Sombra proyectada en el potrero y producción forrajera

Periodo estación	Oferta MS Kg/estación	Oferta MS Kg/estación/ha	Sup Pastoreo (ha) SPG	Reduccion superficie	Superficie cubierta con sombra %	Oferta MS Forestación Kg/estación	Oferta MS Forestación Kg/estación/ha
Ver2018	12.600	126	80,00	3,00	1,00	10.079	100
Oto2018	42.320	423	80,00	3,00	1,50	33.855	338
Inv2018	34.960	349	80,00	3,00	2,00	27.967	279
Pri2018	83.720	837	80,00	3,00	2,50	66.975	669
Ver2019	56.700	567	77,60	3,00	4,50	43.998	439
Oto2019	42.320	423	77,60	3,00	6,50	32.839	328
Inv2019	34.960	349	77,60	3,00	8,50	27.128	271
Pri2019	83.720	837	77,60	3,00	10,50	64.966	649
Ver2020	57.330	573	72,94	3,00	12,50	41.818	418
Oto2020	42.320	423	72,94	3,00	14,50	30.869	308
Inv2020	34.960	349	72,94	3,00	16,50	25.500	255
Pri2020	83.720	837	72,94	3,00	18,50	61.068	610
Ver2021	56.700	567	66,38	3,00	20,00	37.636	376
Oto2021	42.320	423	66,38	3,00	21,50	28.090	280
Inv2021	34.960	349	66,38	3,00	23,00	23.205	232

**Ilustración 8.** Proyección de la oferta de forraje y la superficie de pastoreo.

Oferta forrajera

Consumo animal

Categoría Animal	NOVILLOS + 1 ANIO <span style="float: right;">▼</span>								
Peso Inicial (Kg)	0,00								
Peso Objetivo (Kg)	0,00								
Dotación rodeo (cabezas)	50								
Consumo diario en %PV	2,00								
Utilización Excedente MS (%)	0,00								
KgMS/día para 1UG (380kg)	0,00								
Ganancia diaria sugerida (Kg/día)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Verano</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Otoño</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Invierno</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Primavera</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; color: red;">0,6000</td> <td style="text-align: center; color: red;">0,1500</td> <td style="text-align: center; color: red;">0,0000</td> <td style="text-align: center; color: red;">0,6000</td> </tr> </table>	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	0,6000	0,1500	0,0000	0,6000
Verano	Otoño	Invierno	Primavera						
0,6000	0,1500	0,0000	0,6000						

**Ilustración 9.** Estimación de la ganancia de peso animal por estación.

del peso vivo y una tasa de ganancia diaria (Ilustración 9). Se debe indicar si se utiliza el excedente de forraje de la estación anterior en caso de que hubiera.

Con la información ingresada se calcula en forma estacional y a lo largo del período proyectado, un balance neto entre la oferta de materia seca y la demanda animal y se determina la ganancia de peso al final de cada estación. El sistema realiza algunas advertencias en el caso de que la cantidad de animales del rodeo supere la oferta - déficit - así como la posibilidad de aumentar la carga ganadera en condiciones de mayor oferta (Ilustración 10).

Es importante recordar que la simulación se extiende hasta el fin del ciclo forestal, aproximadamente 8 a 10 años, por lo que en ese período de tiempo puede repetirse varios ciclos animales. Para ello, una vez que el rodeo alcanza su peso objetivo, se reemplaza con un rodeo de iguales condiciones con el peso inicial correspondiente para repetir un nuevo ciclo animal

En la salida de información sobre la parte izquierda se observa el comportamiento en condiciones sin forestación (Ilustración 11) y sobre la parte derecha la misma simulación en un sistema forestado. Esto permite apreciar la diferen-

## 140 Producción ganadera y forestal: análisis de sistemas de producción integrados

Estación	Kg animal salida	Demanda Ind KgMS/día	Demanda Total KgMS/estación	Demanda total KgMS	Oferta PPNA KgMS/estación	Balance	Carga Segura UG/ha	Carga Segura Cabezas/ha	Cabezas Sup Total	Sin Forestación
Ver2018	162,00	4,86	97	7.760	12.600	4.840	0,55	1,30	129	Soporta 49 Cabezas +
Oto2018	175,80	5,27	485	38.800	44.740	5.940	0,51	1,10	92	Soporta 12 Cabezas +
Inv2018	175,80	5,27	485	38.800	37.930	-870	0,36	0,78	78	Excedido 2 Cabezas
Pr2018	230,40	6,91	628	50.240	86.690	36.450	0,84	1,38	138	Soporta 58 Cabezas +
Ver2019	284,40	8,53	767	61.360	56.700	-4.660	0,73	0,97	73	Excedido 7 Cabezas
Oto2019	298,20	8,95	823	65.840	42.320	-23.520	0,58	0,74	51	Excedido 29 Cabezas
Inv2019	298,20	8,95	823	65.840	34.960	-30.880	0,51	0,65	42	Excedido 38 Cabezas
Pr2019	352,80	10,58	963	77.040	83.720	6.680	0,98	1,06	86	Soporta 6 Cabezas +
Ver2020	204,60	6,14	558	44.640	57.330	12.690	0,58	1,09	102	Soporta 22 Cabezas +
Oto2020	218,40	6,55	602	48.160	48.665	505	0,48	0,81	80	Máx dotación soportada
Inv2020	218,40	6,55	602	48.160	35.212	-12.948	0,34	0,58	58	Excedido 22 Cabezas

Ilustración 10. Proyección de cabezas en el potrero.

Sin Forestación	Oferta PPNA Ajustada	Balance2	Carga Segura UG/ha	Carga Segura Cabezas/ha	Cabezas Sup Total	Bajo Forestación
Soporta 49 Cabezas +	10.079	2.319	0,51	1,19	103	Soporta 23 Cabezas +
Soporta 12 Cabezas +	33.855	-4.945	0,36	0,77	69	Excedido 11 Cabezas
Excedido 2 Cabezas	30.937	-7.863	0,29	0,62	63	Excedido 17 Cabezas
Soporta 58 Cabezas +	69.945	19.705	0,76	1,26	111	Soporta 31 Cabezas +
Excedido 7 Cabezas	43.998	-17.362	0,50	0,67	57	Excedido 23 Cabezas
Excedido 29 Cabezas	32.839	-33.001	0,35	0,45	39	Excedido 41 Cabezas
Excedido 38 Cabezas	27.128	-38.712	0,28	0,36	32	Excedido 48 Cabezas
Soporta 6 Cabezas +	64.966	-12.074	0,75	0,81	67	Excedido 13 Cabezas
Soporta 22 Cabezas +	41.818	-2.822	0,50	0,92	74	Excedido 6 Cabezas
Máx dotación soportada	30.869	-17.291	0,35	0,60	51	Excedido 29 Cabezas
Excedido 22 Cabezas	25.752	-22.408	0,28	0,48	42	Excedido 38 Cabezas
Soporta 32 Cabezas +	61.320	1.720	0,75	1,04	82	Soporta 2 Cabezas +
Excedido 16 Cabezas	37.636	-32.924	0,49	0,57	42	Excedido 38 Cabezas

Ilustración 11. Proyección de carga ganadera comparando campo natural con forestación.

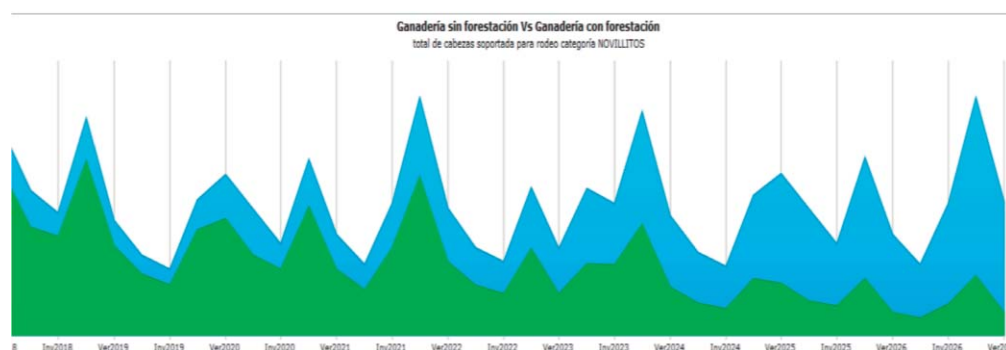


Ilustración 12. Comparación de cabezas de ganado con forestación y en campo natural.

cia en la oferta, la demanda y la carga para los dos escenarios.

A medida que avanzan los años de la proyección, la carga bajo forestación va siendo menor ya que se dispone de una oferta de materia seca menor, afectada por la reducción de área de pastoreo y sombra (Ilustración 11 e Ilustración 12).

También se grafica el balance oferta/demanda advirtiendo las situaciones de déficit de alimento debido a la baja oferta

de pasturas y a la elevada carga por encima de lo soportado (Ilustración 13).

### iv) Análisis económico

Es posible realizar un análisis económico tomando en cuenta las tareas realizadas para la plantación del cultivo forestal, implantación, mantenimiento, hasta la cosecha final y venta de la madera producida (Ilustración 14). El

BALANCE OFERTA / DEMANDA

Para un rodeo de 80 NOVILLITOS

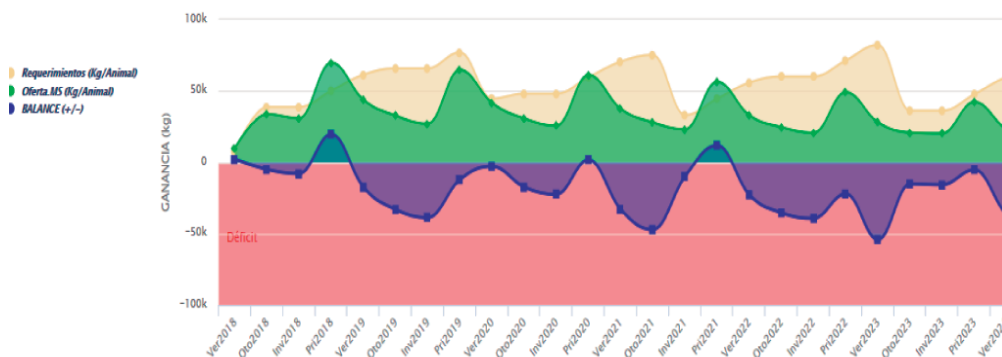


Ilustración 13. Balance forrajero proyectado

Año Inicio	Año fin	concepto gasto	Tipo	Valor US\$	Cantidad	Total Ha	Total	Total US\$ año
1	10	COSTOS ADMINISTRATIVOS	Egreso	10,00	1	80,00	-8.000,00	-800,00
0	0	LABOREO	Egreso	302,00	1	80,00	-24.160,00	-24.160,00
0	0	MANO DE OBRA PLANTACION	Egreso	460,00	1	80,00	-36.800,00	-36.800,00
0	0	PLANTACION	Egreso	165,00	1	80,00	-13.200,00	-13.200,00
0	0	PRE PLANTACION (MANO OBRA, DISTRIBUCION)	Egreso	602,00	1	80,00	-48.160,00	-48.160,00
0	0	PREPARACION DEL SITIO	Egreso	75,00	1	100,00	-7.500,00	-7.500,00
1	1	TRATAMIENTOS PERIODICOS (CONTROL HORMIGA...)	Egreso	47,00	1	80,00	-3.760,00	-3.760,00

Volúmen madera m3		123,50
Valor MINIMO esperado para venta de madera en Pie (US\$/m3)	17,00	US\$ 167.960,00
Valor PROMEDIO esperado para venta de madera en Pie (US\$/m3)	20,00	US\$ 197.600,00
Valor MAXIMO esperado para venta de madera en Pie (US\$/m3)	23,00	US\$ 227.240,00
Tasa de Interés %	3,00	
Carga Ganadera Promedio Proyectada en condiciones de CN similares sin forestación (UG)	0,78	
Margen Bruto Ganadero Promedio en condiciones de CN similares sin forestación (US\$/ha)	50,00	

SELECCIONE MARCO PIV

Edad de la plantación (años) 2-3 4-5 6-7 8-10 > 10

Carga Promedio CN en el potrero (sin forestación) 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00

INCIDENCIA DE COSTOS Para el año 0

Ilustración 14. Datos a ingresar para la proyección económica del sistema

destino de la producción es para la industria de celulosa. El sistema carga por defecto las actividades relacionadas con los costos que existen en el la base de datos y trae a pantalla por defecto el valor unitario preestablecido, los años afectados por esa tarea. La cosecha se considera en el último año de la proyección utilizando el volumen de madera en pie final.

En cuanto a Año inicio y Año fin el usuario debe ingresar cuantos años abarca esa actividad (egreso o ingreso). Por ejemplo compra de plantines y preparación de la tierra van desde año 0 hasta año 0; costos administrativos va desde inicio hasta último año de proyección, la venta de madera corresponde al último año. Cuando se define una ACTIVIDAD (en la tabla actividades, se indican los valores por defecto, las unidades -US\$/

m<sup>3</sup>, US\$/kg, US\$/ha- también si es un costo anual única vez o más de un año.

Finalmente se obtiene el Flujo Neto sin actualizar, El Valor Actual Neto y el Margen Bruto Forestal Anual. Es posible obtener un reporte de salida con esta información (Ilustración 15).

El simulador trae por defecto una tasa de interés de 3% que puede ser modificada por el usuario.

Se grafica la incidencia de los costos (solo egresos) para cada año de proyección, de la mano con el cálculo de Flujo Neto.

Finalmente se grafican los ingresos y egresos en forma conjunta. Como se mencionó anteriormente, es posible ingresar actividades adicionales como por ejemplo un ingreso anual de renta por pastoreo, o una venta previa de madera por raleo comercial.

Escenario Valor Mínimo esperado (US\$)	Escenario Valor Medio esperado (US\$)	Escenario Valor Máximo esperado (US\$)
Flujo Neto sin actualizar 166.180,00	Flujo Neto sin actualizar 316.460,00	Flujo Neto sin actualizar 466.740,00
Valor Actual Neto -24.878,38	Valor Actual Neto 80.524,99	Valor Actual Neto 185.928,36
Valor Actual Neto (ha) -248,78	Valor Actual Neto (ha) 805,25	Valor Actual Neto (ha) 1.859,28
Margen Bruto Forestal Anual -2.499,33	Margen Bruto Forestal Anual 8.089,71	Margen Bruto Forestal Anual 18.678,75
Margen Bruto Forestal Anual (ha) -24,99	Margen Bruto Forestal Anual (ha) 80,90	Margen Bruto Forestal Anual (ha) 186,79
Margen Bruto Ganadero Anual Promedio (ha) 37,54	Margen Bruto Ganadero Anual Promedio (ha) 37,54	Margen Bruto Ganadero Anual Promedio (ha) 37,54

Ilustración 15. Output de diferentes escenarios económicos del sistema proyectado.

## v) Consideraciones finales

El Simulador Forestal Ganadero (SIMFORGAN) es una herramienta que pretende dar apoyo en el momento de toma de decisiones sobre la planificación de un sistema silvopastoril. El productor podría observar los efectos productivos y económicos de las interacciones de los componentes bosque-pastura-animal realizando distintos escenarios y evaluando los productos finales de madera y kilos de carne.

Es el resultado de trabajos realizados desde el año 2014 en las zonas sur y este del Uruguay, en los departamentos de Rocha, Maldonado y Florida.

Esta herramienta puede extenderse a otras regiones, para lo cual es necesario contar con información de predios que permitan calcular y adaptar las ecuaciones y sus coeficientes para los nuevos escenarios y posteriormente poder ser validadas. Esto puede ser también el punto de partida para nuevos análisis a campo, tesis de estudiantes o la realización de proyectos similares que tengan como base parte de este trabajo y que permitan mejorarlo. En este proyecto se utilizó el tapiz de campo natural, pero podría considerarse una serie de pasturas diferentes, como campo natural mejorado o alguna pradera. También puede ampliarse la información con respecto a las especies forestales utilizadas. Es necesario ampliar el número de años en que se relevan los resultados en una misma plantación, así como incorporar otros marcos de plantación a la base de estudio, lo que irá completando la base a nivel de zonas del país.

La estructura del software, el modelo teórico en el cual se basa forma parte de una tesis de maestría en desarrollo. Los nuevos escenarios a los que se pueda acceder permitirán enriquecer la herramienta.

El simulador se desarrolla en lenguaje de programación .Net para plataforma web. Utiliza librerías adicionales para realización de graficas del sitio [www.jqwidgets.com](http://www.jqwidgets.com) y del sitio [www.highcharts.com](http://www.highcharts.com). Utiliza íconos del sitio <http://www.icon-icons.com>.

## BIBLIOGRAFÍA

- Dieguez Cameroni, F. et al., 2012. Modelling of an Extensive Cattle Breeding Farm on Basaltic Soils. , pp.120-130.
- Duursma, R.A. & Mäkelä, A., 2007. Summary models for light interception and light-use efficiency of non-homogeneous canopies. *Tree Physiology*, 27(6), pp.859-870. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/27/6/859.abstract>.
- Methol, R., 2003. SAG grandis: Sistema de apoyo a la gestion de plantaciones de Eucalyptus grandis INIA, ed. Revista Inia, p.42.
- Nunes de Moura, W., Denardin da Silveira, B. & Pagel Floriano, E., 2016. MODELAGEM DO DIAMETRO DA COPA DE EUCALYPTUS SP EM CACAPAVA DO SUL, RS, Uruguiana, Brasil. Available at: <http://novoport.al.unipampa.edu.br/novoport.al/>.
- Simeone, A., Beretta, V. & Caorsi, C.J., 2014. Forestación y Ganadería: cuantificando el efecto de la sombra y el abrigo de los montes sobre la performance animal. *Propuestas tecnológicas en ganadería para un país agrícola, ganadero y forestal*. UPIC, pp.24-27.
- UBA, Sistema de seguimiento forrajero. Available at: <http://larfile.agro.uba.ar/lab-sw/sw/gui/Inicial.page>.
- Wink, C. et al., 2012. Parametros da copa e a sua relacao com o diametro e altura das arbores de eucalipto em diferentes idades. *SCIENTIA FORESTALIS*, 40(93), pp.57-67.

# Conclusiones y recomendaciones

- Los casos del Cap. 1, salvo el Sistema 6, poseen la característica de haber sido estudiados entre el primer tercio y la mitad de la rotación lo que aporta información importante sobre todo en lo que respecta al comportamiento bajo dosel del componente forrajero. La excepción fue el Sistema 6 (6x3) que está en el final del último tercio de la rotación.
- Los dos casos que fueron diseñados con callejones (Sistema 2 y Sistema 5), presentan una mayor producción de forraje. Considerando que el área de pastoreo es mayor, sobre todo en el Sistema 5, se podría concluir que muestran una mayor aptitud de integración con la ganadería. Por ejemplo un resultado importante fue que consistentemente a lo largo del tiempo el Sistema 2, (2 x 2) +8 produjo 42 % más de materia seca que el sistema Denso. El mismo comportamiento en estaciones de crecimiento con buenas precipitaciones se obtuvo en el Sistema 5 con respecto a los testigos y potreros linderos.
- Consideramos el sitio silvopastoril como una combinación por un lado de condiciones naturales del potrero como tipo de suelo, la posición topográfica, la calidad del campo natural y por otro lado el manejo del sistema como especie forestal, marco de plantación, tipo de laboreo, manejo en la implantación y posterior de la forestación incluyendo el tipo de cosecha. Toda esta combinación de factores tendrán incidencia en el potencial productivo de madera y carne. En este estudio nos abocamos a alguno de esos factores y se pudieron establecer alguna de esas relaciones.
- Existen áreas con mayor aptitud para la integración y otras en donde naturalmente crece mejor alguna de esas dos producciones, cuestiones que deberían ser tenidas en cuenta en futuros trabajos.
- En densidades entre 550-1000 pl/ha se puede lograr una mejor combinación de ambas actividades, en especial en los arreglos espaciales de callejones, lo que permite una mayor producción de forraje y aprovechamiento pastoril.
- Los casos bajo estudio son principalmente *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* el cual es plantado en zonas restringidas del SE, principalmente debido a la susceptibilidad a daños por heladas y ataque de enfermedades, por lo que se debería ampliar la base de especies a estudiar. A pesar de ello esta especie sigue teniendo muy buenas aptitudes para pastoreo por el bajo desarrollo de volumen y densidad de copa y la excelente apti-



tud para la producción de pulpa de celulosa.

- El estudio de estos sistemas debería considerar obtener una canasta de productos forestales en donde se priorice menor volumen, y obtener ingresos intermedios proveniente de raleos comerciales y productos de alto valor en turno final de cosecha.
- En el estudio se demuestra el efecto multiplicador que se consigue integrando ambas producciones. En todos los casos se mejora la condición inicial de una sola producción.
- En futuros trabajos se debe considerar especialmente la obtención de densidades medias a bajas con el objeto de obtener diámetros mayores, con mayor valor comercial.
- Uno de los resultados del trabajo es haber construido un modelo conceptual que permitió jerarquizar el nivel de información a ser obtenida para obtener una simulación. Esto también contribuye para saber los resultados a ser obtenidos en futuros trabajos.
- La consideración del paisaje, que se realizó sobre los sistemas 3 y 4 permitió interpretar el comportamiento de variables ambientales como el agua y la interacción suelo agua. Esto brinda información sobre cómo afecta el paisaje en el rendimiento de los componentes. Adquiere relevancia la elección del sitio donde se desarrolle la producción. Por ejemplo, uno de los resultados del estudio es que las zonas del campo más bajas topográficamente funcionan como zonas de descarga de flujos de agua, posiblemente de tipo local, lo que sería un factor que influye en la producción de madera.
- Los suelos ubicados en zonas de recarga, aun con muy escaso desarrollo y someros, pueden presentar muy alta productividad, generalmente asociado a altos contenidos de materia orgánica y elevada alteración de los materiales geológicos. Sin embargo, debido a la baja retención hídrica son más dependientes de las precipitaciones locales. Asimismo, pueden acumularse excesos hídricos por impedancias mecánicas. Estos resultados pueden dar pautas técnicas para priorizar zonas en donde es preferible mantener solo actividad ganadera, sin incorporar forestación.
- Se debería trabajar en el diseño y validación de modelos productivos para las principales zonas del Uruguay y poner a disposición del sector ganadero.
- Finalmente los Sistemas Silvopastoriles deberían tener un papel más relevante en las políticas públicas y privadas. El rol de esas políticas a través de incentivos como subsidios a las plantaciones en predios ganaderos, no será indiferente a la evolución del área forestada por fuera de las grandes empresas. Esto puede cambiar la visión excluyente de la forestación por parte del sector ganadero y apoyar a diversificar a medianos productores.

**INIA Dirección Nacional**  
Andes 1365, P. 12  
Montevideo  
Tel.: 598 2902 0550  
Fax: 598 2902 3633  
[iniadn@dn.inia.org.uy](mailto:iniadn@dn.inia.org.uy)

**INIA La Estanzuela**  
Ruta 50, Km 11  
Colonia  
Tel.: 598 4574 8000  
Fax: 598 4574 8012  
[iniale@le.inia.org.uy](mailto:iniale@le.inia.org.uy)

**INIA Las Brujas**  
Ruta 48, Km 10  
Canelones  
Tel.: 598 2367 7641  
Fax: 598 2367 7609  
[inia\\_lb@lb.inia.org.uy](mailto:inia_lb@lb.inia.org.uy)

**INIA Salto Grande**  
Camino al Terrible  
Salto  
Tel.: 598 4733 5156  
Fax: 598 4732 9624  
[inia\\_sg@sg.inia.org.uy](mailto:inia_sg@sg.inia.org.uy)

**INIA Tacuarembó**  
Ruta 5, Km 386  
Tacuarembó  
Tel.: 598 4632 2407  
Fax: 598 4632 3969  
[iniatbo@tb.inia.org.uy](mailto:iniatbo@tb.inia.org.uy)

**INIA Treinta y Tres**  
Ruta 8, Km 281  
Treinta y Tres  
Tel.: 598 4452 2023  
Fax: 598 4452 5701  
[iniatt@tyt.inia.org.uy](mailto:iniatt@tyt.inia.org.uy)

[www.inia.uy](http://www.inia.uy)