

EFECTO DEL MARCO DE PLANTACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MADERA PARA LA ESPECIE *EUCALYPTUS GLOBULUS* EN LA ZONA ESTE DEL URUGUAY

FACULTAD DE AGRONOMIA UDELAR URUGUAY

Trabajo financiado por INIA URUGUAY, Proyecto FPTA 300

BOSCANA GOIRES, M.¹; BUSSONI GUITART, A.¹; VARELA CASADEY, F.¹; LLANOS GARCÍA,
E.²; BENTACUR, O.³.

¹Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía, UdelaR

²Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, UdelaR

³Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, UdelaR

INTRODUCCIÓN



- Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad productiva con un gran potencial de expansión en Uruguay
- En los últimos años se han incrementado las oportunidades de asociación de productores de rubros tradicionales a empresas forestales
- Demanda creciente de materia prima forestal
- Aspectos que conforman un nuevo escenario para el sector forestal y que ha generado el acercamiento del rubro a otras actividades





OBJETIVO

- Evaluar el efecto del marco de plantación en términos productivos comparando sistemas de producción convencional y sistemas silvopastoriles en la región Este de Uruguay para la especie *Eucalyptus globulus*.



M&M ⁽¹⁾

Eucalyptus globulus ssp globulus

Sistema Producción Convencional (SPC)

Sistema Silvopastoril Filas dobles y Callejones (SSFC)

| | | |
|---------------------------|-----------|------------|
| Marco de Plantación | 3,5 x 2,3 | 8+ (2 x 2) |
| Densidad inicial (arb/ha) | 1.250 | 1.000 |
| Parcelas | 15 | 15 |



Área parcelas 210- m² (26 árb/parcela) y 400 m² (21 árb/parc)
CAP, Ht, N, Período 2014-2017, edad: 36, 41, 45 , 51 y 68 meses de edad del cultivo. ff 0,45.



M&M⁽²⁾

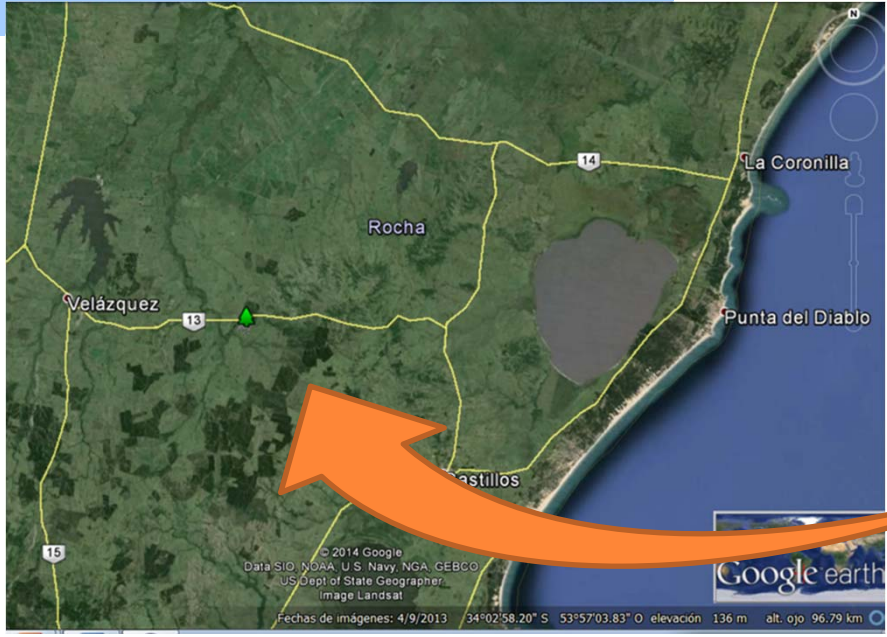
PARCELAS POR ESTRATO

| Sistema | Estratos | Estrato | Número de parcelas |
|---------|-----------|---------|--------------------|
| SSFC | < 70 m | 1 | 3 |
| | 70 - 90 m | 2 | 7 |
| | > 90 m | 3 | 5 |
| SPC | < 70 m | 1 | 3 |
| | 70 - 90 m | 2 | 7 |
| | > 90 m | 3 | 5 |

Suelos arenoso francos graviliosos, afloramientos rocosos ($\leq 5\%$),
superficiales a moderadamente profundos y bien drenados
Pendientes 3-15%

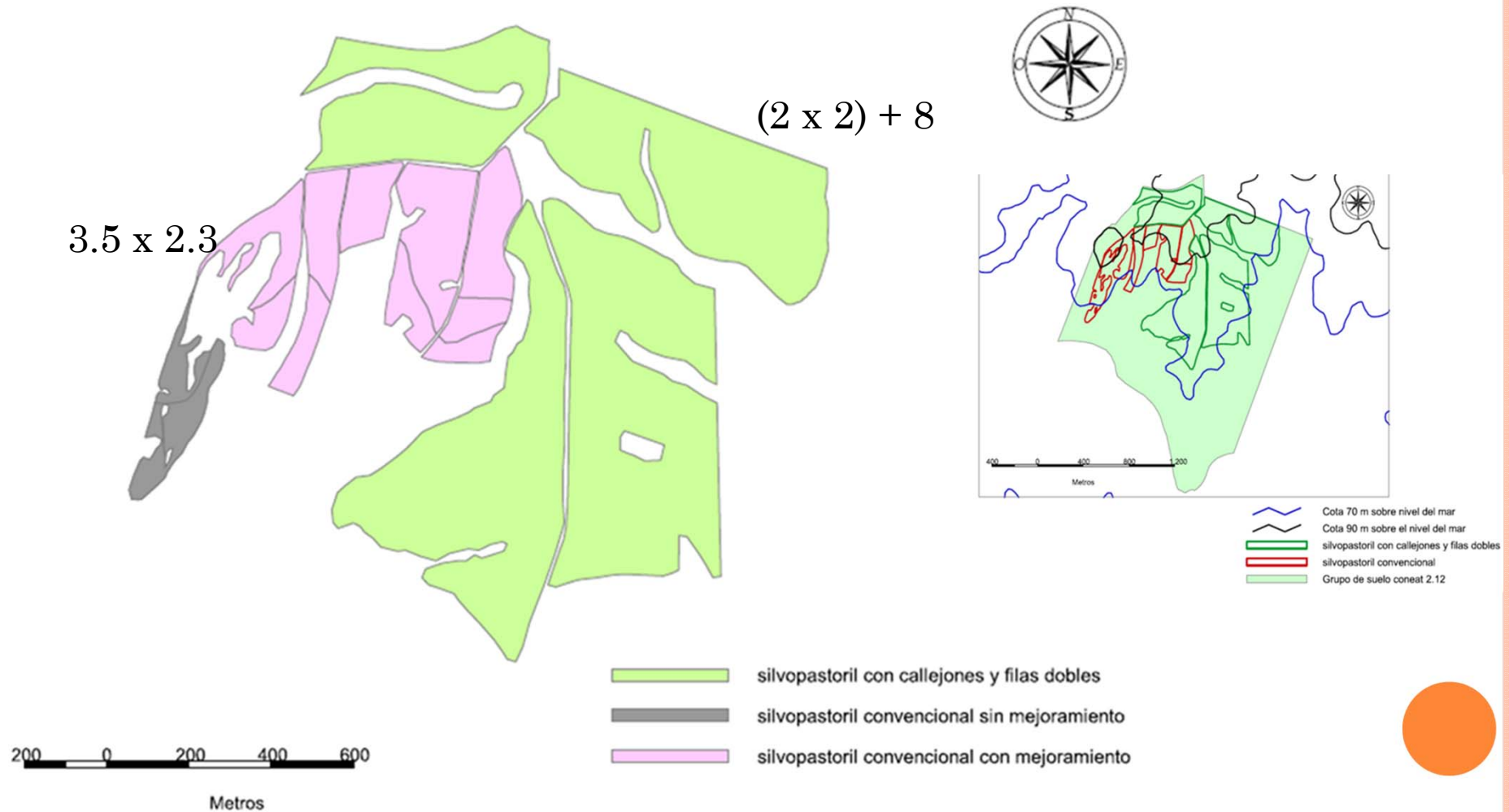
Se analiza con el procedimiento PROC MIXED (SAS), REML







ZONAS: SPC CON MEJORAMIENTO CON HOLCUS SP. (22,7 HA), SPC SIN MEJORAMIENTO (3,6 HA) Y SSFC (85,93 HA)



PARA EVALUAR EL EFECTO DEL MARCO DE PLANTACIÓN Y DE LOS ESTRATOS SOBRE LAS VARIABLES DAP Y Ht POR MES DE EVALUACIÓN, SE AJUSTARON MODELOS LINEALES CON LA SIGUIENTE FORMA:

Modelo estadístico individuo:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + E_j + (SE)_{ij} + \varepsilon_{ijk} + \delta_{ijkl}$$

- Y_{ijkl} = variable de respuesta (DAP o Ht individual) en cada momento de medición.
- $\varepsilon_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\varepsilon)$
- $\delta_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\delta)$
- Dónde:
- μ = media general
- S_i = Efecto del i-ésimo sistema
- E_j = Efecto del j-ésimo estrato
- $(SE)_{ij}$ = interacción entre el i-ésimo sistema y el j-ésimo estrato
- ε_{ijk} = error entre parcelas
- δ_{ijkl} = error entre árboles dentro de cada parcela



MODELO POBLACIONAL

PARA LAS VARIABLES VOLUMEN (M^3/HA) Y ÁREA BASAL (M^2/HA), EL MODELO ESTADÍSTICO TUVO LA SIGUIENTE FORMA:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_j + (SE)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

- Y_{ijk} = variable de respuesta (Volumen (m^3/ha), área basal (m^2/ha) en momento medición.
- $\varepsilon_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\varepsilon)$
- Dónde:
- μ = media general
- S_i = Efecto del i -ésimo sistema
- E_j = Efecto del j -ésimo estrato
- $(SE)_{ij}$ = interacción entre el i -ésimo sistema y el j -ésimo estrato
- ε_{ijk} = error entre árboles dentro de cada parcela



PARA LA VARIABLE SOBREVIVENCIA SE AJUSTÓ UN MODELO LINEAL GENERALIZADO ASUMIENDO QUE EL NÚMERO DE ÁRBOLES VIVOS (MEDIDOS) EN RELACIÓN AL NÚMERO DE ÁRBOLES PLANTADOS TIENE DISTRIBUCIÓN BINOMIAL. EL MODELO ESTADÍSTICO TUVO LA SIGUIENTE FORMA:

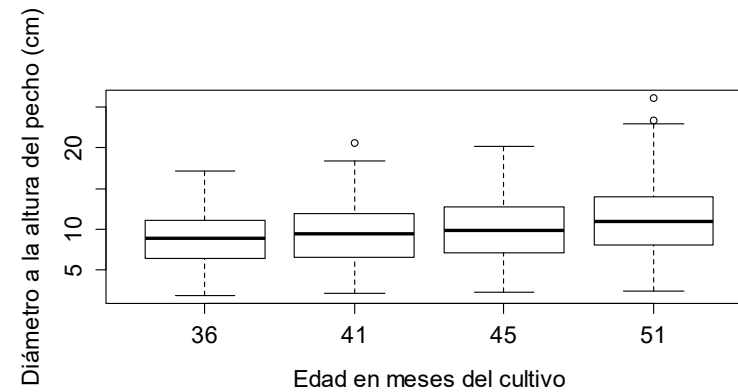
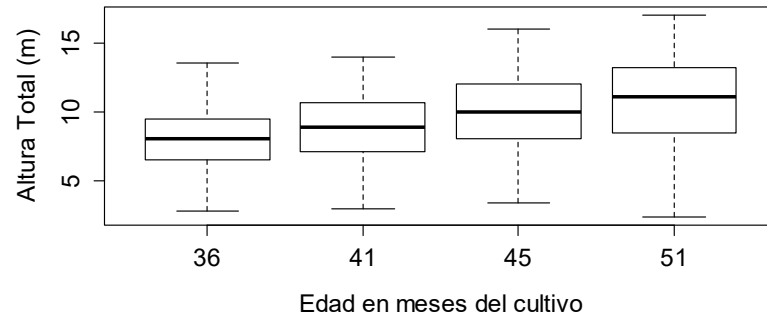
$$\text{Ln} (P/1-P_{ij}) = \beta_0 + S_i + E_j + (SE)_{ij}$$

- Dónde:
- $\text{Ln} (P/1-P_{ij}) = \text{Logit de la Probabilidad de supervivencia}$
- El nivel de significancia fue del 5%. Para comparar las medias de los efectos significativos se usó la prueba de Tukey al 5%.

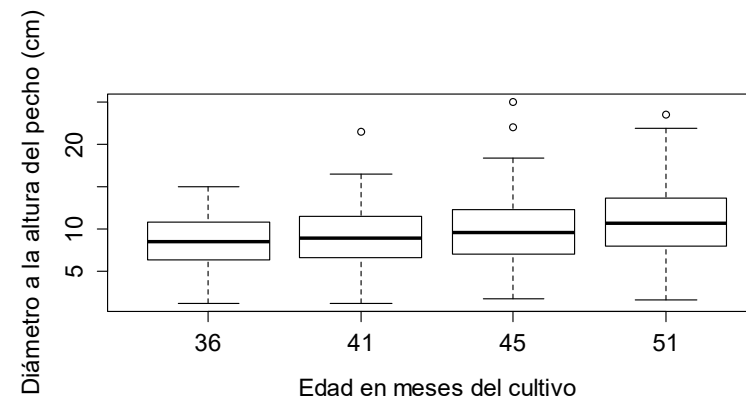
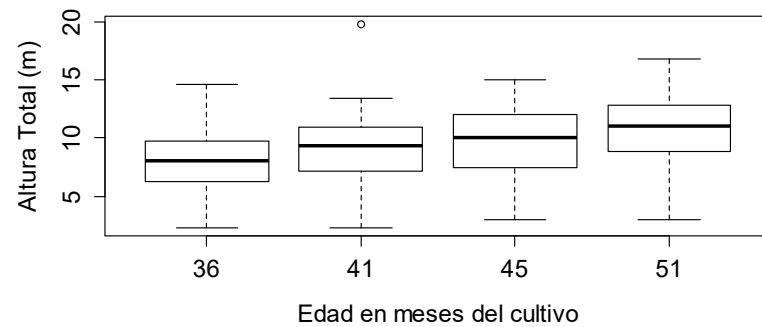


PRINCIPALES RESULTADOS ÁRBOL DESCRIPTIVOS

Sistema de producción convencional **SPC**



Sistema silvopastoril filas dobles y callejones **SSFC**





DAP (CM) INDIVIDUO

| Sistema | Edad (Meses) | Mínimo (cm) | Máximo (cm) | Media (cm) |
|---------|--------------|-------------|-------------|------------|
| SPC | 36 | 1,9 | 17,2 | 8,7 |
| SSFC | | 1,2 | 15 | 8,5 |
| SPC | 51 | 2,4 | 26 | 11 |
| SSFC | | | | |

HT (M)

| Sistema | Edad (Meses) | Mínimo (m) | Máximo (m) | Media (m) |
|---------|--------------|------------|------------|-----------|
| SPC | 36 | 2,8 | 13,5 | 8 |
| SSFC | | 2,3 | 14,6 | |
| SPC | 51 | 2,4 | 17 | 11 |
| SSFC | | 3 | | |



DENSIDADES INICIALES Y AL MOMENTO DE CADA MEDICIÓN SEGÚN SISTEMA Y ESTRATOS

| Estrato | Densidad inicial (arb/ha) | Densidad (arb/ha) a diferentes edades (meses) | | | |
|-------------|---------------------------|---|------|------|------|
| | | 36 | 41 | 45 | 51 |
| SSFC | | | | | |
| 1 | 987 | 536 | 527 | 518 | 518 |
| 2 | 1042 | 823 | 816 | 798 | 791 |
| 3 | 1034 | 903 | 898 | 878 | 883 |
| SPC | | | | | |
| 1 | 1240 | s/d | 842 | 812 | 799 |
| 2 | 1321 | 1015 | 985 | 972 | 979 |
| 3 | 1397 | 1194 | 1185 | 1176 | 1186 |

A los 51 meses de edad la sobrevivencia promedio fue del orden del 72% y 75% SSFC y SPC respectivamente,

El estrato 1 presenta un 48% y 36% de pérdida para **SSFC** y **SPC** 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 el sistema **SSFC** del orden del 14% y para **SPC** del 15%

PARTE I .- RESULTADOS ÁRBOL INDIVIDUAL DIFERENCIAS PARA H, DAP, SOBREVIVENCIA

- No E dif entre sistemas para las tres variables
- No E dif Sistema x Estrato
- No E diferencias de volumen individual
- E diferencias para todas las variables entre estratos



RESULTADOS ARBOL INDIVIDUAL

- Los resultados para producción de madera señalan que para el marco de plantación (SPC y SSFC) **no se establecen diferencias significativas de crecimiento individual en DAP y HT ($p > 0,05$) para cada uno de los momentos.**
- **No se probó interacción Sistema x Estrato ($p > 0,05$)** para los momentos. La variable sobrevivencia de árboles, tampoco mostró diferencias significativas entre sistemas, así como tampoco que exista interacción Sistema x Estrato ($p > 0,05$) para cada uno de los meses.
- Los espaciamientos evaluados se traducen en un área útil por árbol ($m^2/planta$) de 8 m^2 y 10 m^2 para SPC y SSFC respectivamente. Los trabajos de Alves et al. (2014); Henskens et al. (2001) y Bernardo et al., (1998), señalan que árboles con mayor área útil resultan en mayor crecimiento individual en DAP, sin embargo, en los sistemas en evaluación no existen tales diferencias.



*COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = ESTRATO PARA DAP (CM).
 PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA MEDIA (M) ES UN
 ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS SISTEMAS POR CADA ESTRATO.*

| Mes | Estrato | Media (cm) | Error estándar (cm) +/- | Pvalor |
|-----|---------|----------------------|----------------------------|--------|
| 36 | 2 | 7,8976 ^b | 0,2577 | 0,005 |
| | 3 | 9,5229 ^a | 0,2855 | |
| 41 | 1 | 8,1929 ^b | 0,4324 | 0,0024 |
| | 2 | 8,7697 ^b | 0,2701 | |
| | 3 | 10,0804 ^a | 0,3106 | |
| 45 | 1 | 9,0001 ^b | 0,4668 | 0,0267 |
| | 2 | 9,4457 ^{ab} | 0,2922 | |
| | 3 | 10,4884 ^a | 0,3360 | |
| 51 | 1 | 9,9599 ^a | 0,5149 | 0,0536 |
| | 2 | 10,5659 ^a | 0,3210 | |
| | 3 | 11,4837 ^a | 0,3680 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)



*COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = ESTRATO PARA HT.
 PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA
 MEDIA (M) ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS SISTEMAS
 POR CADA ESTRATO.*

| Mes | Estrato | Media (m) | Error estándar (m) +/- | Pvalor |
|-----|---------|----------------------|---------------------------|---------|
| 36 | 2 | 7,2346 ^b | 0,3120 | 0,0006 |
| | 3 | 9,1597 ^a | 0,3522 | |
| 41 | 1 | 6,8779 ^c | 0,4465 | < .0001 |
| | 2 | 8,2895 ^b | 0,2876 | |
| | 3 | 10,2321 ^a | 0,3369 | |
| 45 | 1 | 7,5416 ^c | 0,5454 | < .0001 |
| | 2 | 9,2886 ^b | 0,3526 | |
| | 3 | 11,1022 ^a | 0,4138 | |
| 51 | 1 | 8,3840 ^c | 0,5114 | < .0001 |
| | 2 | 10,3409 ^b | 0,3281 | |
| | 3 | 12,0691 ^a | 0,3830 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)



COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = ESTRATO PARA SOBREVIVENCIA. PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA MEDIA (M) ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS SISTEMAS POR CADA ESTRATO

| Mes | Estrato | Media | Error estándar +/- | Pvalor |
|-----|---------|---------------------|--------------------|--------|
| 36 | 2 | 0.7738 ^b | 0.03038 | 0.0469 |
| | 3 | 0.8649 ^a | 0.02783 | |
| 41 | 1 | 0.6081 ^b | 0.04961 | 0.0006 |
| | 2 | 0.7642 ^a | 0.02753 | |
| | 3 | 0.8591 ^a | 0.02642 | |
| 45 | 1 | 0.5913 ^b | 0.04766 | 0.0004 |
| | 2 | 0.7502 ^a | 0.02692 | |
| | 3 | 0.8456 ^a | 0.02635 | |
| 51 | 1 | 0.5849 ^c | 0.04701 | 0.0002 |
| | 2 | 0.7491 ^b | 0.02662 | |
| | 3 | 0.8515 ^a | 0.02559 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)



- E diferencias significativas por estrato en DAP para todos los meses ($p < 0,05$) excepto a los 51 meses de edad ($p > 0,05$), mientras que para HT presenta diferencias altamente significativas por dicho efecto ($p < 0,01$) para los meses evaluados. La variable sobrevivencia resultó ser altamente significativo a partir de los 41 meses de edad del cultivo ($p < 0,01$). Estos resultados reflejan cierta heterogeneidad entre los estratos. En términos promedios, se registran mayores crecimientos tanto en ***SPC*** y ***SSFC*** para DAP y Ht en el estrato 3, seguido por el 2 y finalmente con menores valores en el estrato 1 en cada mes.



RESULTADOS POBLACIONALES

PARTE II .- RESULTADOS POBLACIONALES DIFERENCIAS PARA H, AB, VOLUMEN SOBREVIVENCIA

- E dif entre sistemas para las tres variables entre sistemas
- E diferencias de volumen m^3/ha
- No E dif Sistema x Estrato

- E diferencias para todas las variables entre estratos



RESULTADOS

- Si se analizan resultados poblacionales, tanto para las variables área basal (m^2/ha) como Volumen total (m^3/ha) **existen diferencias significativas** por efecto sistema (*SPC* y *SSFC*) y estratos ($p < 0,05$), para cada uno de los meses evaluados. Sin embargo en ambas variables no se pueden establecer que exista interacción Sistema \times Estrato ($p > 0,05$). El único mes donde no se pudo establecer diferencias significativas ($p > 0,05$) para volumen por unidad de superficie por efecto sistema fue a los 36 meses, dado que los niveles de sobrevivencia registrados por sistema tienen poca significancia.



COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = SISTEMA PARA AB/HA. PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA MEDIA (M) ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS ESTRATOS POR CADA SISTEMA.

| Mes | Sistema | Media (m ² /ha) | Error estándar (m ² /ha) +/- | Pvalor |
|-----|---------|----------------------------|--|--------|
| 36 | 1 | 7.4925 ^a | 0.5205 | 0.0264 |
| | 2 | 5.7497 ^b | 0.5033 | |
| 41 | 1 | 7.6507 ^a | 0.4316 | 0.0010 |
| | 2 | 5.3621 ^b | 0.4316 | |
| 45 | 1 | 8.4462 ^a | 0.4564 | 0.0008 |
| | 2 | 5.9871 ^b | 0.4564 | |
| 51 | 1 | 10.4665 ^a | 0.5302 | 0.0003 |
| | 2 | 7.2686 ^b | 0.5302 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas (p < 0,05)

COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = ESTRATO PARA AB/HA.

PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA MEDIA (M)

ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS SISTEMAS POR CADA
ESTRATO.

| Mes | Estrato | Media (m ² /ha) | Error estándar (m ² /ha) +/- | Pvalor |
|-----|---------|----------------------------|--|--------|
| 36 | 2 | 5.1484 ^b | 0.4782 | 0.0007 |
| | 3 | 8.0938 ^a | 0.5436 | |
| 41 | 1 | 4.1693 ^c | 0.6428 | <.0001 |
| | 2 | 6.2901 ^b | 0.4208 | |
| | 3 | 9.0598 ^a | 0.4979 | |
| 45 | 1 | 4.9013 ^c | 0.6797 | <.0001 |
| | 2 | 7.1168 ^b | 0.4450 | |
| | 3 | 9.6318 ^a | 0.5265 | |
| 51 | 1 | 6.0102 ^c | 0.7897 | <.0001 |
| | 2 | 8.9926 ^b | 0.5170 | |
| | 3 | 11.5999 ^a | 0.6117 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas (p < 0,05)

COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = SISTEMA PARA VOL/HA. PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%. NOTA: LA MEDIA (M) ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS ESTRATOS POR CADA SISTEMA

| Mes | Sistema | Media (m ³ /ha) | Error estándar (m ³ /ha) +/- | pvalor |
|-----|---------|----------------------------|--|--------|
| 36 | 1 | 30,8016 ^a | 2,8128 | 0,1142 |
| | 2 | 24,3235 ^a | 2,7200 | |
| 41 | 1 | 33,9336 ^a | 2,7800 | 0,0159 |
| | 2 | 23,7299 ^b | 2,7800 | |
| 45 | 1 | 41,0198 ^a | 3,2462 | 0,0136 |
| | 2 | 28,7995 ^b | 3,2462 | |
| 51 | 1 | 55,5166 ^a | 3,7639 | 0,005 |
| | 2 | 39,0468 ^b | 3,7639 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

COMPARACIÓN DEL EFECTO PRINCIPAL = ESTRATO PARA VOL/HA.

PRUEBA DE TUKEY CON UNA PROBABILIDAD DE ERROR DEL 5%.NOTA: LA MEDIA (M) ES UN ESTIMADOR QUE REPRESENTA LA MEDIA DE LOS SISTEMAS POR CADA ESTRATO

| Mes | Estrato | Media (m ³ /ha) | Error estándar (m ³ /ha) +/- | pvalor |
|-----|---------|----------------------------|---|--------|
| 36 | 2 | 19.0755 ^b | 2.5844 | 0.0004 |
| | 3 | 36.0496 ^a | 2.9379 | |
| 41 | 1 | 14.5336 ^b | 4.1405 | <.0001 |
| | 2 | 26.8230 ^b | 2.7106 | |
| | 3 | 45.1386 ^a | 3.2073 | |
| 45 | 1 | 18.6967 ^c | 4.8349 | <.0001 |
| | 2 | 34.0930 ^b | 3.1652 | |
| | 3 | 51.9392 ^a | 3.7451 | |
| 51 | 1 | 25.1373 ^c | 5.6059 | <.0001 |
| | 2 | 48.3178 ^b | 3.6699 | |
| | 3 | 68.3901 ^a | 4.3423 | |

Valores con letras iguales, no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)



CONCLUSIONES

- El marco de plantación (SPC y SSFC) no se establecen diferencias significativas de crecimiento individual en DAP y HT
- E diferencias significativas por estrato en DAP para todos los meses ($p < 0,05$) excepto a los 51 meses de edad ($p > 0,05$), mientras que para HT presenta diferencias altamente significativas por dicho efecto ($p < 0,01$) para los meses evaluados.
- Existen diferencias a nivel poblacional, no por crecimientos individuales sino por densidades.
- Estos resultados permitirán realizar mejores diseños entre producción de madera y ganado





Muchas gracias por su atención

**Consultas y comentarios
abussoni@fagro.edu.uy**

**AGRADECIMIENTOS INIA-PROYECTO
FPTA 300 “PRODUCCIÓN GANADERA Y
FORESTAL,
EMPRESA FORESTAL REDALCO,
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



- Por lo tanto y dado que no hay efectos de marco de plantación sobre DAP y HT en el crecimiento individual, la diferencia de producción de madera por unidad de superficie (m^3/ha) entre los *SPC* y *SSFC* podrían explicarse por el efecto de la densidad de plantación por unidad de superficie (arb/ha). Según Alves et al. (2014); Henskens et al. (2001); Bernardo et al. (1998), el volumen por hectárea puede registrar mayores valores en plantaciones de alta densidad dado el efecto de una mayor cantidad de árboles por hectárea.



COMPONENTE PASTORIL



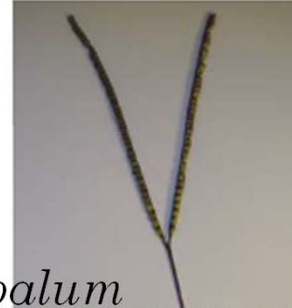
- Método de jaulas de exclusión móviles de 1 m² (pirámides de hierro de 1 m por 1 m de base, cubiertas por alambre para evitar el pastoreo de animales en el área de muestreo.
- La superficie efectiva de corte es de 0,4 m² con una altura de corte a partir de los 1,5 cm desde el suelo.
- Determinación del porcentaje de cobertura según composición botánica del tapiz herbáceo, medición del crecimiento de forraje en campo natural (kg MS/ha)
- Mediciones cada 45 días



CN: PREDOMINAN ESPECIES FORRAJERAS

NATIVAS,

- Especies Encontradas: Paspalum sp., Sporobolus, Bromus, Carqueja, Cardo, Mio Mio, Esporobolus, entre otras. Cynodon,



Paspalum



COMPONENTE FORESTAL

- Se establece la necesidad de estratificar la población a evaluar según la altitud (metros sobre nivel del mar), dado que es un factor que puede interferir en las variables forestales a estudio.
- Los estratos son diseñados con el apoyo de imágenes google earth y mapas disponibles en formato shp, estas referidas a las cotas de terreno.
- Lo que se busca es contrarrestar la varianza dentro de cada estrato a los efectos de realizar un tamaño de muestra menor.
- Distribución aleatoria de las Unidades Muestrales (parcelas)



| Superficie efectiva (ha) | Especie | Edad (meses) | Características | Relieve |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|---|
| 112 | <i>E. globulus</i> (origen Jeerelاند) | 68 meses (Primavera 2011) | Basamento cristalino, con texturas en general arenoso francos gravillosos, con bajos porcentajes de afloramientos rocosos (5%), superficiales a moderadamente profundos y bien drenados (Compendio de Suelos del Uruguay). | Pendientes: 5-15% Altitud: 60-100 m. s. n. m |

- Algunos de las variables del componente arbóreo que cobran importancia en la asociación lo constituyen:
 - la especie forestal
 - edad del cultivo
 - la densidad inicial
 - el espaciamiento
 - 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.





Turnos de corta son de aprox. 12 años, siendo el destino industrial el chipeado de la madera.

Alrededor de un 20% del cultivo tiene como destino producción de madera de calidad dado los beneficios tributarios otorgados en este tipo de plantaciones (trat. silvícolas podas y raleos, turno 18 años).

Especialización ganadera recria e invernada.
Peso inicial novillitos de 1 a 2 años con aprox. 240 kg, peso final de 480-490 kg (Novillos de más de 3 años),

Pastoreo rotativo.

