



El árbol y sus efectos en el microclima y en la productividad de forraje

The tree and its effects on the microclimate and forage productivity

F Sotelo¹; N Coore¹; G Soares de Lima¹; C Hernández¹; P Bertonecelli¹; JK Fedrigo¹

Universidad de la Republica (Uruguay). PDU Agroforestal (CUCEL).
Ruta 26 km 408, Cerro Largo. 3700

Resumen

El presente trabajo estudió las condiciones microclimáticas resultantes de la presencia de árboles de *Eucalyptus sp.* y la productividad de *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Holcus lanatus* en su sotobosque. El experimento se realizó en el departamento de Cerro Largo – Uruguay, de octubre a diciembre de 2019, en cinco condiciones de interferencia arbórea: hileras de 20m de callejón con orientación norte-sur (NS20) y este-oeste (EO20); hileras de 7m norte-sur (NS7) y este-oeste (EO7); y sin interferencia arbórea (control); en un diseño en bloques completos al azar con 3 repeticiones. La radiación fotosintéticamente activa fue inferior en el sotobosque silvopastoril, y presentó valores promedios mensuales crecientes en EO y más estables en NS en el periodo evaluado. La temperatura y la humedad del suelo fueron superiores en el control. La producción de forraje fue superior en control para todas las especies, siendo que *Holcus lanatus* presentó productividad superior en todas las condiciones, a excepción de las hileras de 7m, en que las producciones fueron mínimas para todas las especies. *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* no presentaron diferencias significativas entre ellas en términos de productividad en todas las condiciones. Se encontró como patrón de comportamiento que distancias de callejones mayores, determinaron niveles de productividad más altos. Niveles crecientes de interferencia arbórea resultaron también en menores alturas del pasto y densidades volumétricas inferiores, aspectos que deberían ser considerados en la planificación y utilización de esos sistemas.

Palabras clave: marcos de plantación, radiación fotosintéticamente activa; *Holcus lanatus*; *Dactylis glomerata*; *Festuca arundinacea*; densidad volumétrica.

Abstract

The present work studied the microclimatic conditions resulting from the presence of *Eucalyptus sp.* trees and the productivity of *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* and *Holcus lanatus* in their understory. The experiment was carried out in the department of Cerro Largo - Uruguay, from October to

INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

December 2019, under five conditions of arboreal interference: rows of 20m of alley with north-south orientation (NS20) and east-west (EO20); 7m north-south (NS7) and east-west (EO7) rows; and without arboreal interference (control); in a randomized complete block design with 3 replications. Photosynthetically active radiation was lower in the silvopastoral understory, and presented increasing monthly mean values in EO and more stable in NS in the evaluated period. Soil temperature and humidity were higher in the control. Forage production was superior in control for all species, being that *Holcus lanatus* presented higher productivity in all conditions, except for the 7m rows, in which productions were minimal for all species. *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* did not show significant differences between them in terms of productivity under all conditions. It was found as a behavior pattern that longer alley distances determined higher levels of productivity. Increasing levels of arboreal interference also resulted in lower grass heights and lower volumetric densities, aspects that should be considered in the planning and use of these systems.

Keywords: *plantation design, photosynthetic active radiation; Holcus lanatus; Dactylis glomerata; Festuca arundinacea; volumetric density.*

Introducción

Uruguay se caracteriza por presentar una superficie cubierta por campo natural mayor al 70%, la cual se utiliza principalmente para la cría de ganado (MGAP, 2011). A finales de la segunda mitad del siglo XX e impulsado por leyes, fue el rubro forestal quien vio un fuerte crecimiento hasta la fecha. El hecho de que exista un marco legal y regulado atrajo capital extranjero. En este contexto, acompañando el crecimiento sostenido de la forestación en el país en los últimos años, las empresas forestales han estimulado la creación de contratos con los productores ganaderos con el fin de que ingresen ganado a las plantaciones forestales para pastoreo y de esta forma disminuya los riesgos de incendios. Existen algunos ejemplos de productores que buscan una integración equilibrada entre la ganadería y la forestación, con el objetivo de atender desde el bienestar animal, producción de forraje, sustentabilidad económica, generando un mayor ingreso en el largo plazo con respecto a la ganadería por sí sola, y además se logra incrementar la productividad del recurso suelo. En esta modalidad, el productor es quien decide de qué manera implementar el componente arboreo, y lo realiza con espaciamientos adecuados para permitir el ingreso de luminosidad al sotobosque, asegurando así la producción de forraje. Según relata Tamosiunas (2015) la adopción de sistemas silvopastoriles, que promuevan la sinergia de sus componentes es baja en Uruguay, siendo que aquellos productores con experiencia silvopastoril, forestan por el convencimiento de los beneficios



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

para el ganado; mientras que los que no optan por ellos, ven a la forestación como un aumento de costos, sin beneficios a corto plazo.

Una de las características más comunes con respecto a la producción del componente forrajero en un sistema silvopastoril es su variación espacial y temporal, aspecto que es determinado fundamentalmente por el marco de plantación del componente forestal. El diseño de plantación, la especie forestal, las intervenciones forestales y la edad de los árboles son algunos de los factores que determinan variaciones en la acumulación de forraje dentro del sistema. De esa manera, distintos diseños forestales interfieren directamente en la magnitud de competencia entre árboles y pastos por los recursos naturales. A pesar de que la radiación solar disponible en el sotobosque ha sido ampliamente estudiada como el principal factor que interfiere en el desempeño de los cultivos, la competencia por el agua y los nutrientes con los árboles pueden provocar variaciones en el rendimiento (Varella, 2012).

Dentro de este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la variabilidad de las condiciones microclimáticas (radiación fotosintéticamente activa, temperatura del aire, temperatura y humedad del suelo) resultante de la presencia de árboles del género *Eucalyptus sp.* en distintos marcos de plantación; y las interacciones entre estos en la productividad primaria y modificaciones estructurales (altura, densidad volumétrica) de *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* y *Holcus lanatus*.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo entre los meses de octubre a diciembre del 2019 en el departamento de Cerro Largo, Uruguay (32°37'10.59"S - 54°28' 2.27"W). El clima es clasificado como Cfa, de acuerdo con la clasificación de Köppen, sin estación seca definida durante el año y con promedio anual de 1400mm de precipitación. Durante el periodo experimental, las precipitaciones se mantuvieron levemente por debajo del promedio histórico. El suelo del sitio presenta textura franco arcillosa y valores de pH de 4.9, 7 ppm de fósforo y 4.7% de materia orgánica.

Las especies de gramíneas utilizadas fueron las siguientes: *Dactylis glomerata* cv. INIA LE Oberón; *Festuca arundinacea* cv. Rizar IGP1 2; *Holcus lanatus* cv. INIA Virtus. El componente arbóreo consistió en clones del híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis* establecidos en el año 2008. El mismo presentó un diámetro a la altura del pecho promedio de 28,2 cm; una altura total promedio de 30,8 m; una altura de tronco de 10,3 m; y una longitud de copa promedio de 20,5 m. Las condiciones de interferencia arbórea fueron: N-S20; N-S7; E-O20; E-O7 y Control. Las parcelas en Control fueron de 3m



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

x5m. Áreas con interferencia 3,4m x 7m o 20m. El diseño experimental fue un diseño en bloques completamente aleatorizado.

La preparación del sitio consistió en un corte de la pastura existente previo a la siembra a 5 cm, donde posteriormente se realizó una pulverización con herbicida glifosato a una dosis de 4 l.ha⁻¹. La siembra (realizada en marzo de 2019) fue directa y se utilizaron las siguientes densidades: *Dactylis glomerata* 12 Kg.ha⁻¹, *Festuca arundinacea*, 14 Kg.ha⁻¹, *Holcus lanatus* 7 Kg.ha⁻¹. Se fertilizó en conjunto a la siembra con 100 Kg.ha⁻¹ de 07-40-00 (N-P-K) y 180 días post siembra con 50 Kg.ha⁻¹ de urea verde, y 270 días post siembra con 40 Kg.ha⁻¹ superfosfato triple 0-46/47-0.

Para medir los parámetros microclimáticos se utilizaron (solamente en el control y con callejones de 20m) sensores de temperatura del aire (sensor: VP-4, Decagon®), temperatura y humedad del suelo (sensor 5TM, Decagon®), radiación fotosintéticamente activa (sensor piranómetro Apogee®) acoplados a datalogger (Em50, Decagon®); con frecuencia de medición de 10 minutos. Los muestreos se realizaron a los 210 días post siembra; 240 y 270; utilizando cuadros 50cm x 50cm. Dichas fechas corresponden a los tres meses antes mencionados, los cuales se corresponden con el ciclo de mayor producción de las especies invernales. Se realizaron 3 cortes por parcela para cada especie en los silvopastoriles y 2 cortes en control. Se dejó un remanente de 10 cm el cual simula una situación de pastoreo.

Para el análisis de datos, cada ambiente (marcos de plantación y control) correspondieron a un experimento con un diseño en bloques completamente aleatorizados (tres tratamientos con tres repeticiones). Las comparaciones fueron realizadas por medio del modelo general de experimentos combinados (Moore y Dixon, 2015). El Software utilizado fue SAS University Edition, mientras que los promedios comparados por medio de test de Tukey con un p-valor < 0,05.

Resultados y discusión

El patrón de sombreado mostró diferencias entre las orientaciones de las filas y el mes de medición. En la orientación E-O el RFA fue mayor para diciembre con respecto a la orientación N-S, pero la situación fue contraria en octubre y noviembre. El movimiento aparente del sol permitió que para el caso de las filas de árboles en la orientación E-O, donde el mismo permanece más tiempo sobre el callejón, una mayor radiación acumulada en el mismo durante el final de la primavera y comienzo del verano, y menos en octubre. En el caso de la orientación N-S, las filas de árboles se encuentran perpendiculares al movimiento del sol, lo que genera una mayor variabilidad diaria pero menos variabilidad anual con respecto a E-O. Es necesario remarcar que durante el



INICIO
 CRÉDITOS
 COMITÉS
 CONTENIDO
 SECCIÓN I
 SECCIÓN II
 SECCIÓN III
 SECCIÓN IV

período de invierno en la orientación Este - Oeste la radiación solar directa no llegaba al sotobosque, una vez que la inclinación aparente del sol hacia el Norte determina que el dosel forestal intercepte la radiación solar durante todo el día, siendo que solamente radiación difusa llegaba al sotobosque (datos no presentados). Durante todo el año, la orientación NS recibió todos los días radiación directa, a diferencia de EO en que la radiación solar era interceptada mayormente por el componente arbóreo, motivo por el cual se presentaba la condición de sombreado en la mayor parte del tiempo.

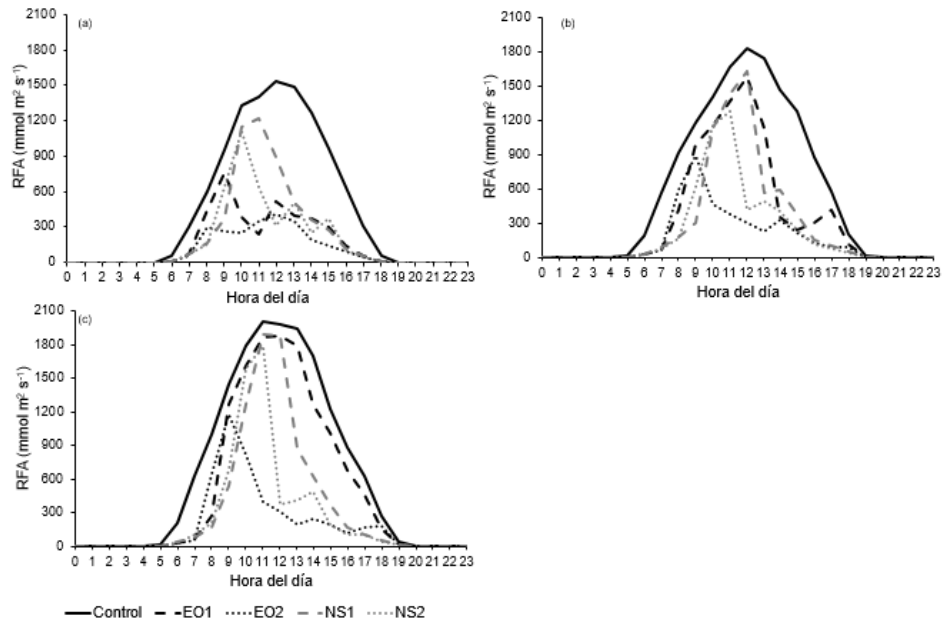


Figura 1. Registro de los valores horarios de radiación fotosintéticamente activa (RFA) para los meses de octubre (a), noviembre (b) y diciembre (c) de 2019. Los datos refieren al promedio 5 días mensuales completamente soleados y encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20 m) (línea gris de guiones), Este-Oeste (20 m) (línea negra de guiones), Norte-Sur (7 m) (línea gris punteada), Este-Oeste (7 m) (línea negra punteada).

Los árboles jugaron un rol clave sobre la carga calórica a nivel del suelo, generando que los aumentos temporales de temperatura tanto en las condiciones Norte-Sur como en Este-Oeste ocurrieran en promedio por debajo de los valores del control. Así mismo se observa que la variable presenta valores mayores en la orientación N-S con respecto a E-O. Se registró un incremento progresivo de la temperatura del suelo para las tres condiciones, conforme avanzó la primavera (Figura 2a). El tratamiento control se mantuvo con temperaturas superiores a las registradas en los sistemas silvopastoriles.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

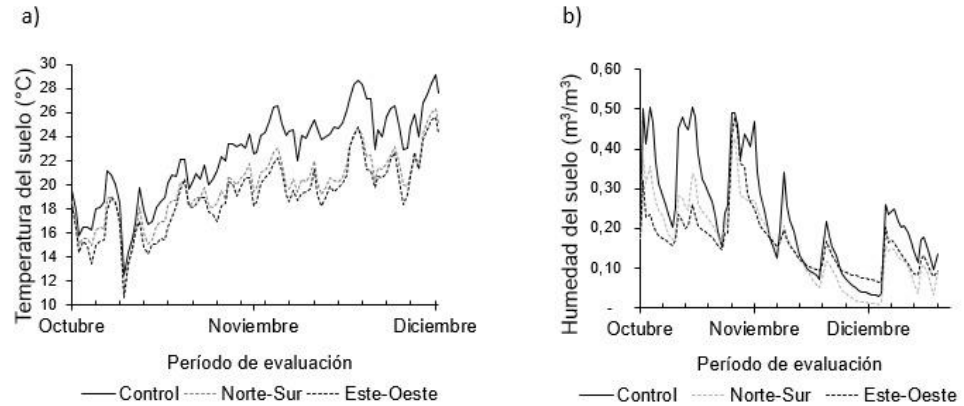


Figura 2. Registro de los valores de temperatura del suelo (a) y humedad de suelo (b) para el período octubre hasta diciembre de 2019. Los datos se encuentran discriminados según la orientación de los experimentos: control (línea negra continua), Norte-Sur (20m) (línea gris punteada) y Este-Oeste (20 m) (línea negra punteada).

La temperatura del aire fue similar en las distintas condiciones, presentando variaciones superiores en el mes de octubre (valores entre 8,6 y 20°C) y se mantuvieron más elevadas para noviembre y diciembre (entre 20 y 25°C). El mes de noviembre presentó valores más altos de temperaturas mínimas y los valores máximos fueron mayores en diciembre para las tres condiciones.

Los valores de humedad del suelo fueron superiores a pleno sol (Figura 2b). Dichos resultados coinciden con Munka (2017), que verificó que de la precipitación es interceptada por la cubierta forestal, pudiendo ser evaporada o precipitada desde el dosel al suelo, lo cual determinará que el contenido de humedad debajo del dosel sea menor respecto a áreas sin presencia arbórea. La tendencia de esta variable fue disminuir hacia los meses más cálidos para las tres condiciones. En diciembre E-O presentó valores similares a la condición de pleno sol. Considerando la edad de los árboles del sistema silvopastoril estudiado, los cuales son adultos, los resultados coinciden con lo afirmado por Karki y Goodman (2014), que indican que estos árboles tienen una mayor demanda y un sistema radicular más extenso para poder absorber y utilizar el agua disponible en el suelo. De esta manera a pesar de una menor evapotranspiración de la vegetación del sotobosque en comparación con la vegetación a cielo abierto, la demanda de agua será mayor en sistemas silvopastoriles con árboles maduros.

Todas las especies presentaron mayor producción en control (Figura 3). *Dactylis glomerata* presentó 48.4% en N-S 20 m y 76.75% en E-O 20 m, en relación al control. En el caso de *Festuca arundinacea* la producción en N-S 20 m y E-O 20 m fue 48.16% y 55.63% con respecto al control. Por último, *Holcus lanatus*, presentó en relación al control valores de 46.5% en N-S 20 m y 56.71% en E-O 20 m (Figura 3). *Holcus lanatus* presentó una producción superior a las demás especies en control (85.63% y 86,49%), Norte-Sur 20 m



XI Congreso Internacional de
Sistemas Silvopastoriles

I Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles

México, 3 a 5 de noviembre de 2021

INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

(78.55% y 80.27%) y Este-Oeste 20 m (37.16% y 90.10%). En el caso de 7 m, independientemente de la orientación, la producción es igual para todas las especies.

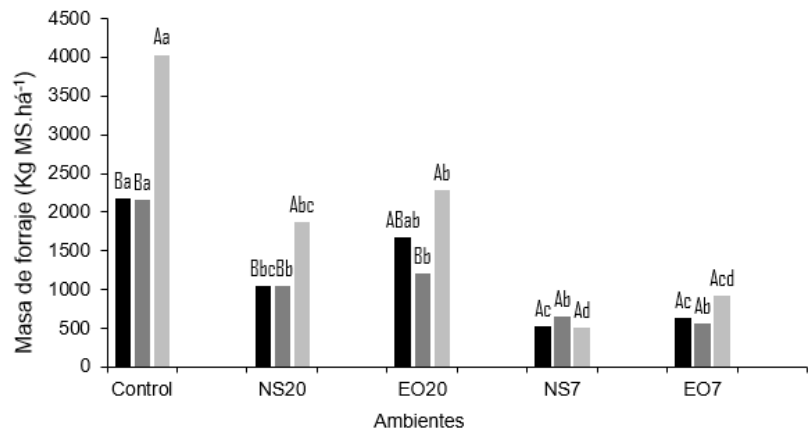


Figura 3. Producción de forraje (kgMS.há⁻¹) en función de la interacción ambiente*especie. Los datos se encuentran discriminados según especie: *Dactylis glomerata* (barra negra), *Festuca arundinacea* (barra gris oscura), *Holcus lanatus* (barra gris clara). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies estudiadas dentro de cada tratamiento. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para una misma especie para los distintos tratamientos. $p < 0,05$

Se registró en noviembre una mayor producción de forraje en todas las condiciones. Octubre presentó una alta producción de forraje en control, registrándose una disminución hacia diciembre.

Para todos los meses evaluados, el mayor valor de producción de forraje fue observado en el control. Matthew *et al.* (2001) indicaron que la luz solar y la temperatura afectan la tasa de crecimiento de las especies forrajeras, así como la tasa y tiempo de desarrollo de los estados fenológicos; es por esta razón que el control al no tener la influencia de los árboles logra producir más forraje. En noviembre fueron observados valores superiores de producción de forraje, que se asocia al contenido de agua disponible en el suelo por efecto de las precipitaciones ocurridas y las temperaturas amenas.

Los ambientes que menor producción obtuvieron fueron las condiciones de callejones de 7 metros tanto orientación N-S como E-O sin importar el mes de evaluación, lo que se relaciona con la menor disponibilidad de recursos para crecimiento (humedad del suelo y radiación). Sin embargo, los callejones de 20 metros lograron mejores valores de producción, con picos en el mes de noviembre.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

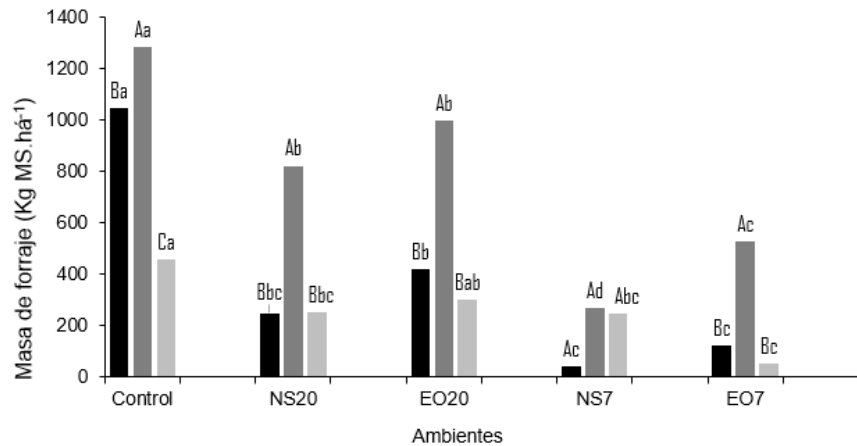


Figura 4. Producción de forraje (kgMS.há⁻¹) en función de la interacción ambiente*mes. Los datos se encuentran discriminados según mes: octubre (barra negra), noviembre (barra gris oscura), diciembre (barra gris clara). Letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas entre los meses estudiados dentro de cada tratamiento. Letras minúsculas distintas presentan diferencias estadísticas significativas para un mismo mes para los distintos tratamientos. $p < 0,05$

El estudio de la relación entre la altura del pasto (datos no presentados) y la masa de forraje (MF) no demostró diferencias significativas entre las distintas especies y orientaciones de las filas de árboles (Figura 5). Sin embargo, el control presentó densidad volumétrica superior, seguido por los callejones de 20m y luego 7m. La ecuación de correlación correspondiente al control fue la siguiente: $MF = -136,6 + 43,2 * altura$ ($R^2 = 0,46$, $P < 0,01$), representando que en cada centímetro de la altura del pasto se encuentran más de 43 kg de materia seca por hectárea. Para los callejones de 20 m la ecuación de regresión $MF = -60,7 + 24,5 * altura$ ($R^2 = 0,40$, $P < 0,01$); y para callejones de 7 m fue $MF = 31,3 + 12,1 * altura$ ($R^2 = 0,26$, $P < 0,01$).

De manera general, nuestros resultados indican que a medida que la densidad de árboles aumenta, se disminuye la densidad volumétrica. Esto significa que, a menor distancia de callejón o menor entre fila, también será menor la masa de forraje correspondientes a cada cm de altura de pasto. Esta reducción en la densidad volumétrica puede ser explicado por efecto en la cantidad y calidad de luz (relación roja/rojo lejano), e cual puede promover un alargamiento del tallo inhibiendo el macollaje (Casal *et al.*, 1987). Garnier y Roy (1988) han informado que la intensidad de la luz reducida y los cambios en la calidad de la luz reducen el macollamiento y por lo tanto es probable que reduzcan el IAF. Altos niveles de sombra alentarán a las plantas a estar más etioladas donde el crecimiento más alto es un esfuerzo por obtener un mayor acceso a la luz disponible en la competencia con plantas vecinas (Peri, 2002). Por lo tanto, al generar modificaciones de distanciamiento entre filas y que esto provoque a su vez disminución en los niveles de luz, provoca los



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

cambios en la estructura de la pastura y por ende se remite a modificaciones en la densidad volumétrica del forraje.

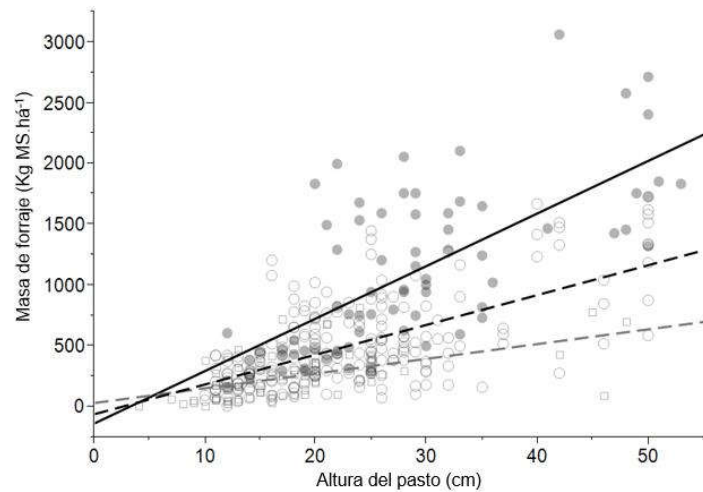


Figura 5. Correlación entre altura del pasto y masa de forraje. Los datos se encuentran discriminados según la densidad de los experimentos: control o densidad 0 (línea negra continua), densidad 20 m (línea negra punteada) y densidad 7 m (línea gris punteada)

Conclusiones

Bajo las condiciones evaluadas, la radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue la variable microclimática que presentó las mayores variaciones. La RFA fue inferior bajo interferencia arbórea con respecto a pleno sol, con una diferencia más acentuada en el mes de diciembre. En Norte-Sur la RFA fue poco variable entre los meses, aunque presentó mayor variabilidad diaria. El comportamiento en Este-Oeste fue el contrario. La presencia arbórea también amortiguó los cambios bruscos de temperatura tanto del suelo como del aire, resultando en una menor amplitud térmica con respecto al control. En lo que respecta a temperatura del aire promedio, no se encontraron diferencias entre los ensayos. La humedad del suelo fue superior a pleno sol durante todo el período de evaluación. La misma disminuyó en todas las condiciones hacia el verano.

La producción de forraje fue superior a pleno sol para todas las especies. *Holcus lanatus* presentó mayor producción en relación a las otras especies en todas las condiciones, a excepción al ancho de callejón de 7 metros. *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* no presentaron diferencias significativas entre ellas en términos de productividad. Distancias de callejones mayores, 20 metros versus 7 metros, determinaron niveles de productividad más altos. La densidad volumétrica presentó diferencias significativas para la distancia entre hileras y no para la orientación de los experimentos. A menor densidad de plantación, por cada cm de pasto, hay mayor masa de forraje.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SECCIÓN I

SECCIÓN II

SECCIÓN III

SECCIÓN IV

Bibliografía

- Casal, J., Deregibus, V., Sánchez, R., 1987. Tillering responses of *Lolium multiflorum* plants to changes of red/far-red ratio typical of sparse canopies. *Journal of Experimental Botany*. 38(9):1432-1439.
- Garnier, E., Roy, J., 1988. Modular and demographic analysis of plant leaf area in sward and woodland populations of *Dactylis glomerata* and *Bromus erectus*. *The Journal of Ecology*. 76(3):729-743.
- Karki, U., Goodman, M., 2014. Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. *Agroforestry Systems*. 89(2):319- 325.
- Matthew, C., Van Loo, E., Thom, E., Dawson, L., Care, D., 2001. Understanding shot and root development. (en línea). In: *International Grassland Congress (19th, 2001, Sao Paulo)*. Proceedings. Aberdeen, s.e. pp. 19-27.
- MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2011. Anuario estadístico agropecuario 2011. Montevideo. 146 p.
- Moore, K., Dixon, P., 2015. Analysis of combined experiments revisited. *Agronomy Journal*. 107(2):763-771.
- Munka, C., 2017. Microclima en sistemas silvopastoriles. En: Viñoles, C.; Fedrigo, J.; Benitez, V.; Santa Cruz, R. (Eds), *Integración ganadería forestación*. Melo, Polo Agroforestal. pp. 63-68.
- Peri, P., 2002. Leaf and canopy photosynthesis models for cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) grown in a silvopastoral system. Thesis PhD. en Agricultural Sciences. Lincoln, New Zealand. Lincoln University. 291 p.
- Tamosiunas, M., 2015. La integración productiva de árboles y ganado en predios familiares: la visión del productor. *Agrociencia (Uruguay)*. 19(1):150-157.
- Varela, A., 2012. Características do ambiente luminoso em sistemas silvipastoris e recomendações para o manejo do componente forrageiro nas condições do sul do Brasil. *Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul (11^o, 2012, Nova Prata)*. Rio Grande do Sul.