



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
MODALIDAD TESINA

**Producción primaria y características morfofisiológicas de
Paspalum atratum cv. Cambá FCA y *P. guenoarum* cv. Chané
FCA en asociación con *Stylosanthes guianensis* con distintos
espaciamientos entre líneas de siembra**

Autor: Gianina Andrea Vitale

Asesor: Ing. Agr. (Dr.) Carlos Alberto Acuña

~Año 2017~



Índice

Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	4
Materiales y métodos	4
Material vegetal y diseño experimental.....	4
Descripción del sitio de estudio y fuente de datos de temperatura.....	4
Metodología aplicada.....	5
Análisis estadístico	6
Resultados y discusión.....	6
Características morfogénicas	6
Producción primaria.....	10
Índice vegetativo de diferencia normalizada	133
Conclusiones.....	16
Bibliografía.....	17
Anexos	20



Resumen

El rendimiento de las gramíneas forrajeras de alto potencial productivo se ve influenciado, entre otros factores, por la baja disponibilidad de nutrientes del suelo, principalmente de nitrógeno (N). La incorporación de leguminosas a los sistemas pastoriles mejora de manera económica y eficiente este aspecto. *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA (PA) y *Paspalum guenoarum* cv. Chané FCA (PG) pertenecen a este grupo de gramíneas, y su asociación con *Stylosanthes guianensis* (PAS y PGS) mejoraría su potencial productivo en suelos con poco N disponible. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento en cuanto a características morfofisiológicas, de producción primaria y reflectancia de *P. atratum* y *P. guenoarum* en asociación con *S. guianensis* bajo diferentes distanciamientos entre líneas de siembra. Para comprobarlo se estudiaron características morfofisiológicas como la tasa de surgimiento foliar (a través del filocrono) y la vida media foliar (VMF), la producción primaria utilizando la tasa de crecimiento (TC), y por último la reflectancia utilizando el índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI), tanto en parcelas puras como asociadas. El filocrono resultante para PA fue de 185 grados día ($^{\circ}\text{Cd}$), mientras que para PAS fue de 178 $^{\circ}\text{Cd}$; para PG fue de 228 $^{\circ}\text{Cd}$ y para PGS de 220 $^{\circ}\text{Cd}$. Se observó una disminución del filocrono de 3,8% para *P. atratum* y 3,6% para *P. guenoarum* asociados con respecto a las parcelas testigo. Los valores medios de VMF para los tratamientos PAS y PGS a 0,60 m y 0,40 m oscilaron entre los 570 $^{\circ}\text{Cd}$ y 613 $^{\circ}\text{Cd}$, mientras que los tratamientos PA y PG a los mismos distanciamientos generaron valores entre 376 $^{\circ}\text{Cd}$ y 418 $^{\circ}\text{Cd}$. En las parcelas asociadas se evidenció que, si bien disminuyeron levemente la sumatoria en grados día requerida para el despliegue de cada hoja, lograron retener (a 0,60 m y 0,40 m) mayor cantidad de hojas vivas desplegadas en comparación con las parcelas testigo. Ambas especies de gramíneas aumentaron su tasa de crecimiento ($\text{g/m}^{\circ}\text{Cd}$) al estar asociadas, resultando en PGS una tasa tres veces mayor a la de PG; y en PAS una tasa dos veces mayor que la de PA. El distanciamiento en este caso arrojó tasas superiores para 0,60 m, seguidas por 0,40 m y finalmente por 0,20 m debido a la relación entre la densidad de plantas y la cantidad de nutrientes y luz. En cuanto a la TC de cada parcela (con el aporte total en kg/ha) fue notable el incremento de PGS en cuanto a la TC, la cual aumentó un 79%. En lo que respecta a las lecturas de NDVI a los distanciamientos 0,40 m y 0,60 m, *P. guenoarum* y *P. atratum* en asociación con *Stylosanthes guianensis* (PGS y PAS), presentaron lecturas significativamente mayores que para el mismo cultivar puro con los mismos distanciamientos. La asociación entre gramíneas y leguminosas incrementó la retención de hojas fotosintéticamente activas, disminuyendo levemente el filocrono y aumentando la VMF. Logró a través de esto aumentar la producción de materia seca de las gramíneas con respecto al tiempo térmico, lo que a su vez se vio reflejado en las lecturas del NDVI, ya que las plantas mejor nutridas lograron también aumentar su reflectancia.



Introducción

En las regiones tropicales la baja disponibilidad de nutrientes es, sin duda, uno de los factores que afectan el rendimiento y la calidad del forraje. Por ende, en el proceso de producción de pasturas, el suministro de nutrientes esenciales en las proporciones adecuadas (especialmente de N) tiene una importancia fundamental. En muchos casos, el N proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo, resulta insuficiente para satisfacer la demanda de gramíneas con alto potencial productivo. Al incorporar leguminosas a las pasturas se tiende a mejorar de una manera económica y eficiente estos aspectos, aumentando la disponibilidad de N en el suelo y favoreciendo al sistema suelo-planta (Lascano, 1999; Roncedo y Pérez, 2005).

La morfogénesis ha sido adoptada como un proceso adecuado para describir los componentes del crecimiento de las plantas forrajeras y su relación con factores ambientales y de manejo. Explica los procesos implicados en la productividad de los pastos a través de un abordaje ecofisiológico. La disponibilidad de N afecta positivamente las características morfofisiológicas (morfogénicas y estructurales) como así también la producción de forraje; por lo que las prácticas para favorecer dicha disponibilidad son herramientas valiosas (Chapman y Lemaire, 1993). Una de esas prácticas es la asociación entre gramíneas y leguminosas.

La morfogénesis conceptualmente es definida como la dinámica de la generación y la expansión de los órganos de las plantas en el tiempo y en el espacio y su relación con el rendimiento de materia seca (Lemaire y Chapman, 1996). Los espaciamientos entre líneas de siembra pueden ejercer influencia sobre tal proceso en beneficio o detrimento del rendimiento de la pastura, modificando las relaciones entre luz, temperatura y humedad; permitiendo la predicción de las variaciones estacionales en la productividad primaria de las pasturas (Moraes et al., 1995) y el pronóstico de los efectos del manejo en la sostenibilidad de su productividad (Grant y Marriot, 1994).

La reflectancia y la emisión de diferentes longitudes de onda de las hojas son características que, gracias al avance tecnológico de los últimos 30 años, han podido ser medidas y su conocimiento llevó a relacionar varios índices con la cuantificación de parámetros agronómicos como por ejemplo área foliar, cobertura, biomasa, estado



nutricional y rendimiento de los cultivos (Hatfield, 2008). Sensores activos (como el Greenseeker) han sido utilizados para cuantificar la reflectancia del canopy de algunos cultivos y usados para calcular el índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI), asociándolo posteriormente a la cobertura, índice de área foliar, acumulación de biomasa y eficiencia del uso del nitrógeno (Henik, 2012).

El género *Paspalum* se distribuye en América con 400 especies aproximadamente, de las cuales 80 de ellas se encuentran en Argentina. Se desarrollaron cultivares forrajeros altamente productivos del mencionado género, dos de los cuales están registrados por la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Ellos se denominan *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA y *P. guenoarum* cv. Chané FCA (Urbani y Quarin, 2003).

El cv. Cambá FCA es una gramínea perenne de producción estival, de excelente respuesta a los abonos nitrogenados, con buena adaptación a diferentes tipos de suelos y una alta producción de forraje (Urbani y Quarin, 2003). El cv. Chané FCA es una gramínea perenne también de ciclo productivo estival, adaptada a suelos pobres y bien drenados, con alta producción de materia seca y de floración tardía (Urbani y Quarin, 2003). *Stylosanthes* es un género importante como productor de forraje, pues incluye especies de gran plasticidad y rusticidad (Bogdan, 1977), adaptadas a una gran variedad de suelos (Schultze-Kraft y Giacometti, 1979; Miles y Lascano, 1997). *S. guianensis* produce gran cantidad de forraje en suelos pobres (Andrew y Robins, 1969).

Existen pocos trabajos con forrajeras nativas del trópico y subtrópico sudamericano en la perspectiva morfogénica (Cruz y Boldrini, 1998; Machado, 2010; Nabinger et al. 2001; Steiner, 2005; Eggers et al. 2004; Fachinetto, 2010). Los mismos se basan en el modelo propuesto por Chapman y Lemaire (1993) y tienen en cuenta aspectos morfogénicos como la tasa de surgimiento foliar (TSF) y Vida Media Foliar (VMF), los cuales reflejan de manera fidedigna la producción primaria de las gramíneas.

Se trabajó la hipótesis de que la asociación entre las gramíneas (*Paspalum atratum* cv. Cambá FCA y *P. guenoarum* cv. Chané FCA) y una leguminosa (*Stylosanthes guianensis* cv. Graham), con distintos espaciamientos entre líneas de siembra, afecta la respuesta de las características morfogénicas, la producción de materia seca y la



reflectancia de las gramíneas. Se utilizó para ello las características morfológicas: tasas de surgimiento foliar (TSF) y vida media foliar (VMF); la producción primaria en materia seca (MS) y el índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI).

Objetivos

Evaluar las características morfológicas (TSF y VMF) de dos variedades cultivadas de *Paspalum* en asociación con *Stylosanthes guianensis* en condiciones de campo, con diferentes espaciamientos entre líneas de siembra.

Determinar la influencia de la asociación de la leguminosa con ambas especies de gramíneas en la producción primaria, con diferentes distanciamientos.

Evaluar si existe correlación entre las lecturas arrojadas por el Greenseeker con la producción primaria de las pasturas.

Materiales y métodos

Material vegetal y diseño experimental

El material biológico que se utilizó en el experimento estuvo compuesto por: *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA y *Paspalum guenoarum* cv. Chané FCA asociados con *Stylosanthes guianensis* cv. Graham. Estas especies fueron distribuidas en bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición contó con 15 parcelas, cada parcela con una combinación de los tres distanciamientos (0,20 m; 0,40 m ó 0,60 m) de: cv. Chané FCA con *Stylosanthes*, cv. Cambá FCA con *Stylosanthes*, cv. Cambá FCA puro, cv. Chané FCA puro ó *Stylosanthes* puro. Las variedades utilizadas son perennes y con período productivo estival. Fueron sembradas en Octubre de 2013 en el Campo Didáctico Experimental de la FCA de la UNNE. En este trabajo se evaluó el tercer ciclo productivo porque se esperó que después de este tiempo la influencia de la leguminosa sea notable, al haberse estabilizado el sistema.

Descripción del sitio de estudio y fuente de datos de temperatura

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicado en la periferia de la ciudad de Corrientes (27° 28' 45" S, 58° 47' 06" W). El tipo de suelo corresponde a un Udipsament árgico de la serie Ensenada Grande (INTA, 1994). Los datos de temperaturas medias se obtuvieron del Instituto Correntino del Agua y del Ambiente (ICAA).



Metodología aplicada

Las unidades experimentales constaron de 5 líneas de siembra de las cuales, en las que se realizó la asociación de especies, dos líneas correspondieron a la leguminosa y tres a la gramínea (los externos y el central). En el línea central de las parcelas con *Paspalumsp.* se marcaron cinco macollos representativos, en los que se realizaron las observaciones morfológicas. En cada día de muestreo se llevaron registros individuales por macollo del número de hojas y la condición en que se hallaban (aparición, despliegue o senescencia). Se consideró cada hoja nueva cuando pudo ser observada desde el ápice, hoja desplegada cuando pudo observarse la lígula, y hoja senescente cuando el 50% de la lámina se hallaba en amarillamiento o necrosis. Con estos datos, a posteriori se obtuvieron la TSF y VMF.

Para el cálculo de la suma térmica acumulada (ST) se admitió que la temperatura base (TB) para los biotipos en cuestión (metabolismo C₄), se sitúa en la faja de 12°C (Agnusdei, 1999; Pakinding e Hirata, 2001). De esa forma, la ST se obtuvo a partir de la suma de las temperaturas medias diarias habiéndole descontado previamente la TB. (Ometto, 1981).

La TSF es la cantidad de hoja desplegada por grado día (°Cd), por ende para facilitar la interpretación de los resultados, se trabajó con el filocrono, el cual es la inversa de la TSF, es decir, la cantidad de °Cd necesarios para desplegar una hoja. Se estimó el filocrono a través de la regresión lineal entre el número de hojas desplegadas y la ST acumulada hasta desplegar cada hoja.

La VMF se determinó a partir de la multiplicación entre el número de hojas desplegadas presentes y el filocrono. Considérese que el número de hojas es prácticamente constante y que la completa expansión de una hoja ocurre en concomitancia con la senescencia de otra (Moore y Mooser, 1995).

Al llegar al 95% de cobertura del entrelíneo (determinado con medidor de intercepción de la radiación solar: LI-COR, LAI 2200, cada 7 días), en cada una de las parcelas se procedió a realizar las mediciones de NDVI con el sensor Greenseeker (cedido por la cátedra de Cultivos I de la FCA, UNNE) en la parte central de cada parcela. En las parcelas asociadas se midió sobre la gramínea y sobre la leguminosa.



El corte de las parcelas para determinar la producción primaria se realizó entre 12 y 24 horas después de haberse tomado las lecturas de NDVI. Se tomó 1 m de longitud de los tres líneas centrales (en las unidades experimentales asociadas, la muestra fue compuesta por 1 línea de *Paspalum* y 2 de *Stylosanthes* separadamente). Se pesaron a campo las muestras totales y se tomó una submuestra de 300 g aproximadamente cada una, que fueron secadas en estufa hasta peso constante y posteriormente pesadas para el cálculo de la producción total de MS (método gravimétrico).

La condición para que cada parcela sea cortada fue que llegue al 95% de intercepción de la luz, lo que condujo a que no sean cortadas todas al mismo tiempo, razón por la cual se optó por utilizar la tasa de crecimiento (producción/tiempo térmico) para comparar los resultados.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de los datos se realizaron mediante ANOVA (previa prueba de distribución normal de Shapiro-Wilks) y cuando indicaron diferencias significativas, se hizo uso del Test de Duncan, con 5% de significancia para comparar las medias. Para comparar la producción primaria de materia seca de las pasturas y las lecturas del NDVI se utilizó el análisis de correlación. Al momento de analizar las variables morfofisiológicas se realizaron regresiones lineales simples. Se utilizaron los softwares InfoStat versión estudiantil 2016 y Microsoft Office Excel 2007.

Resultados y discusión

Características morfogénicas

La primer característica morfogénica a evaluar fue la tasa de surgimiento foliar a través del filocrono ($^{\circ}\text{Cd}/\text{hoja}$) considerando 12°C como temperatura base. El mismo se halla representado por la pendiente de las ecuaciones en la Figura 1. Para ello se realizaron análisis de varianza tanto del número de hojas como de las sumatorias térmicas, sin hallar interacción entre los distanciamientos y las asociaciones, siendo significativas las diferencias únicamente para éstas últimas. Como puede observarse en la figura antes mencionada, los filocronos de *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA (PA) y *Paspalum guenoarum* cv. Chané FCA (PG), difieren en 43°Cd , siendo la primera especie quien requiere menor sumatoria térmica para desplegar cada hoja. En las parcelas que se hallaban



asociadas con *Stylosanthes guianensis*(S), el filocrono disminuyó 3,8% para PAS y 3,6% para PGS con respecto a los testigos (PA y PG). Pese a que la aparición de hojas está determinada genéticamente, puede ser modificada por condiciones extremas de nutrición nitrogenada (Colabelli et al., 1998). El suelo del lote contaba con 0,021 % de N, y por los resultados obtenidos se deduce que la presencia de la leguminosa ha favorecido la disponibilidad de N en el sistema suelo-planta.

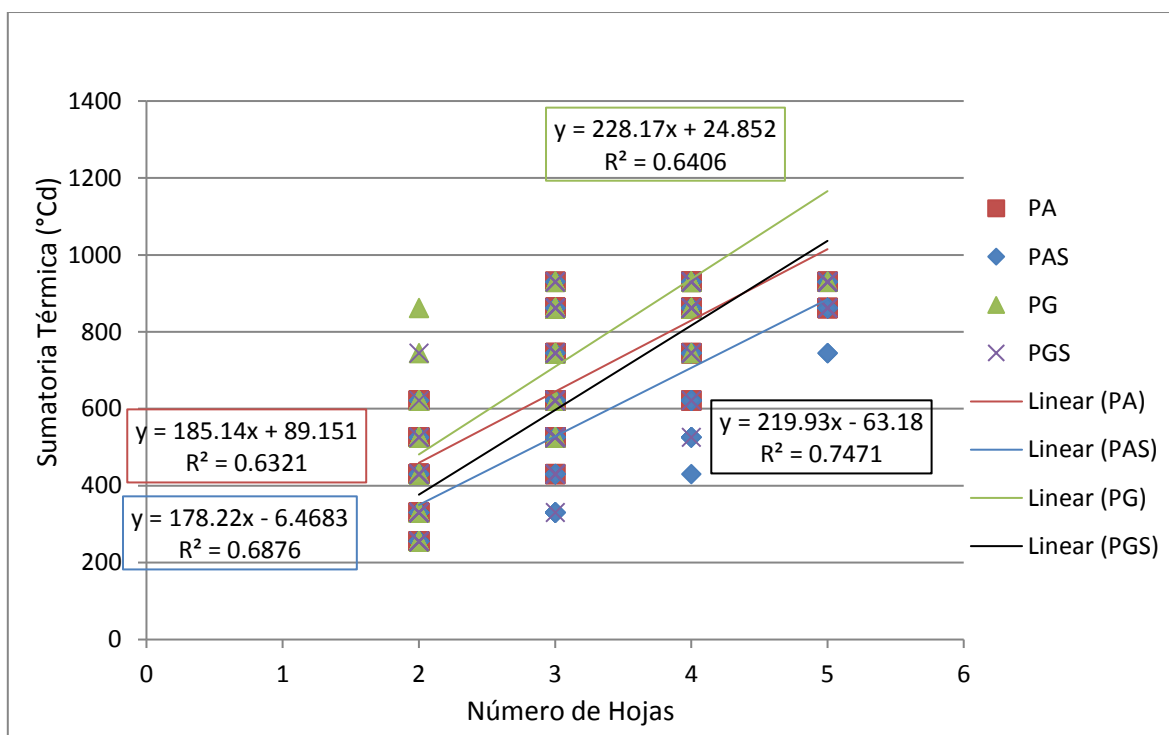


Figura 1. Regresión lineal entre el número de hojas y las sumatorias térmicas acumuladas hasta que se hallen desplegadas. PA: *Paspalum atratum*; PAS: *Paspalum atratum* + *Stylosanthes guianensis*; PG: *Paspalum guenoarum*; PGS: *Paspalum guenoarum* + *Stylosanthes guianensis*. $y=ax+b$ donde a =filocrono.

Las condiciones de temperatura en °Cd en el período en que fue realizado el relevamiento de datos (Noviembre de 2015 a Enero 2016) llegaron al promedio de 14,2 °Cd (habiendo descontando la temperatura base a las temperaturas medias diarias). Esto nos permite comparar el filocrono obtenido con otras especies forrajeras como las que se mencionan en la Tabla 1, extraída de Colabelli et al. (1998), presentando valores que se encuentran dentro de los rangos citados. Cabe aclarar que los valores mostrados fueron



obtenidos en su mayoría en plantas aisladas, mientras que en el presente trabajo se estudiaron plantas componentes de un dosel, estando expuestas a la competencia con las otras plantas. *Festuca arundinacea* por ejemplo, es una especie de ciclo estival, con filocronos semejantes a los obtenidos para *Paspalum sp.* Otras gramíneas como *Hordeum stenostachys*, *Stipa neesiana* y *Poa lanígera*, presentaron sumatorias térmicas para desplegar una hoja cercanas a las obtenidas en la Figura 1.

Tabla 1. Filocrono para distintas especies forrajeras y condiciones experimentales (Adaptado de Colabelli et al., 1998). T: temperatura promedio del periodo. T*: temperatura promedio del periodo habiendo descontado la temperatura base (12°C). PLA: planta aislada. PC: pastoreo continuo. AS: asociado con *S. guianensis*.

Genotipo	Filocrono	Condiciones experimentales
<i>Bromus willdenowii</i>	123	T: 15 °C. PLA
	103	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Festuca arundinacea</i>	220	
	168	T: 14,5 °C
	204	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Hordeum stenostachys</i>	200	T: 14,5 °C. PC
	179	T: 5,5 °C A 17 °C
	185	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Lolium perenne</i>	140	T: 6 °C
	110	
<i>Stipa neesiana</i>	290	T: 14,5 °C
	400	T: 5,5 °C A 17 °C
	185	T: 8,7 °C a 17 °C. PLA
<i>Dactylis glomerata</i>	110	T: 8,4 °C. PLA
	85, 120, 170	T: 12 °C y 15 °C
	114	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Phalaris aquatica</i>	161	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Poa lanigera</i>	185	T: 8,7 °C a 14 °C. PLA
<i>Paspalum atratum</i>	185	T*: 14,2 °C
	178	T*: 14,2 °C. AS
<i>Paspalum guenoarum</i>	228	T*: 14,2 °C
	220	T*: 14,2 °C. AS

En el análisis de vida media foliar, cuyos valores pueden observarse en la Figura 2, fueron detectadas interacciones entre los distintos distanciamientos y las asociaciones,



siendo significativas las diferencias para ambos tratamientos. Las parcelas testigo de *Paspalum atratum* presentaron diferencias significativas con las parcelas asociadas con distanciamientos de 0,40 m y 0,60 m; al igual que *Paspalum guenoarum*, que presenta diferencias entre parcelas testigo y asociadas para ambos distanciamientos. En todos los casos mencionados, es mayor la VMF en las parcelas asociadas con *S. guianensis*.

Las parcelas PA no presentaron diferencias significativas con las parcelas PG para cada distanciamiento correspondientemente. Lo mismo ocurrió entre las parcelas PAS y PGS.

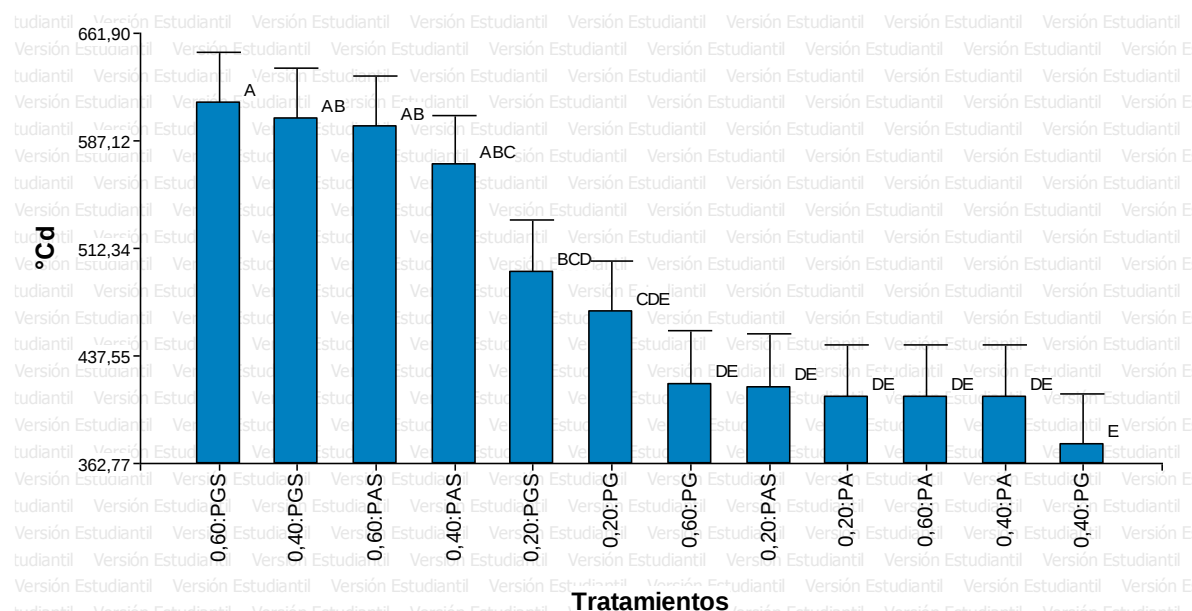


Figura 2. Vida Media Foliar por tratamiento. PA: *Paspalum atratum*; PAS: *Paspalum atratum* + *Stylosanthes guianensis*; PG: *Paspalum guenoarum*; PGS: *Paspalum guenoarum* + *Stylosanthes guianensis*. Distanciamientos: 0,20 m, 0,40 m y 0,60 m.

Como se observa en el Anexo I, los valores medios de VMF para los tratamientos PAS y PGS oscilaron entre los 570°Cd y 613°Cd, mientras que los tratamientos PA y PG a los mismos distanciamientos generaron valores entre 376°Cd y 418°Cd, considerable diferencia a favor de la asociación de especies.

De lo expuesto anteriormente se deduce que las asociaciones PAS y PGS distanciadas a 0,40 m y 0,60 m, si bien no disminuyen marcadamente la sumatoria en grados día



requerida para el despliegue de cada hoja, sí retienen mayor cantidad de hojas vivas desplegadas en comparación con las parcelas testigo. Esto significa un mayor tiempo con hojas fotosintéticamente activas, indicio de que presentan un mayor potencial productivo.

La senescencia de las hojas es un proceso ligado a su aparición, sin embargo en condiciones extremas de deficiencia de nitrógeno, se reduce el número de hojas vivas por macollo, probablemente por redistribución del nitrógeno hacia órganos prioritarios (Colabelli et al., 1998). Los resultados expuestos evidencian el efecto de la asociación de *Paspalum sp.* con *Stylosanthes guianensis*, probablemente por la mayor disponibilidad de N en el sistema. Es factible que para la separación entre líneas de siembra de 0,20 m la competencia por la luz fuera excesiva, en detrimento del buen crecimiento de la leguminosa, cuya densidad luego de 3 años se redujo, pudiendo no ser suficiente para generar un efecto significativo.

Producción primaria

La variable producción primaria fue analizada a través de tasas de crecimiento para que sean comparables los valores en gramos o kilogramos arrojados por cada parcela. Esto se debió a que, al realizar los cortes al 95% de intercepción de la luz solar, no todas las unidades experimentales llegaron al mismo estado en el mismo momento. Todos los resultados que se presentan a continuación contemplan la producción acumulada, es decir primer y segundo corte (en caso de que así hubiese ocurrido).

Inicialmente se trabajó con la producción en gramos por metro lineal (g/m), dividiéndola por la sumatoria térmica ($^{\circ}\text{Cd}$) hasta el corte correspondiente, obteniendo así la tasa de crecimiento tanto para las gramíneas como para la leguminosa (TCG y TCS). Los análisis de varianza realizados para ambos casos, no indicaron interacción entre los diferentes distanciamientos y las asociaciones, pero denotaron diferencias significativas para ambos factores.

En cuanto a los distanciamientos, el comportamiento fue igual tanto para TCG como para TCS, siendo mayores los valores medios para el distanciamiento 0,60 m, seguido de 0,40 m y por último 0,20 m. Esto se debe a la competencia por la luz y los nutrientes, donde menores distanciamientos generan mayor competencia por la luz y cuentan con menor volumen de suelo a explorar por las raíces.



Las asociaciones para TCG indicaron que para los tratamientos PAS y PGS los valores medios fueron significativamente superiores a los arrojados por PA y a PG, siendo similares las tasas entre PGS y PAS al igual que entre PA y PG (Figura 3).

Las asociaciones para TCS indicaron que no hubo diferencias productivas tanto si se encontraba en parcelas puras como en parcelas asociadas. (Figura 3).

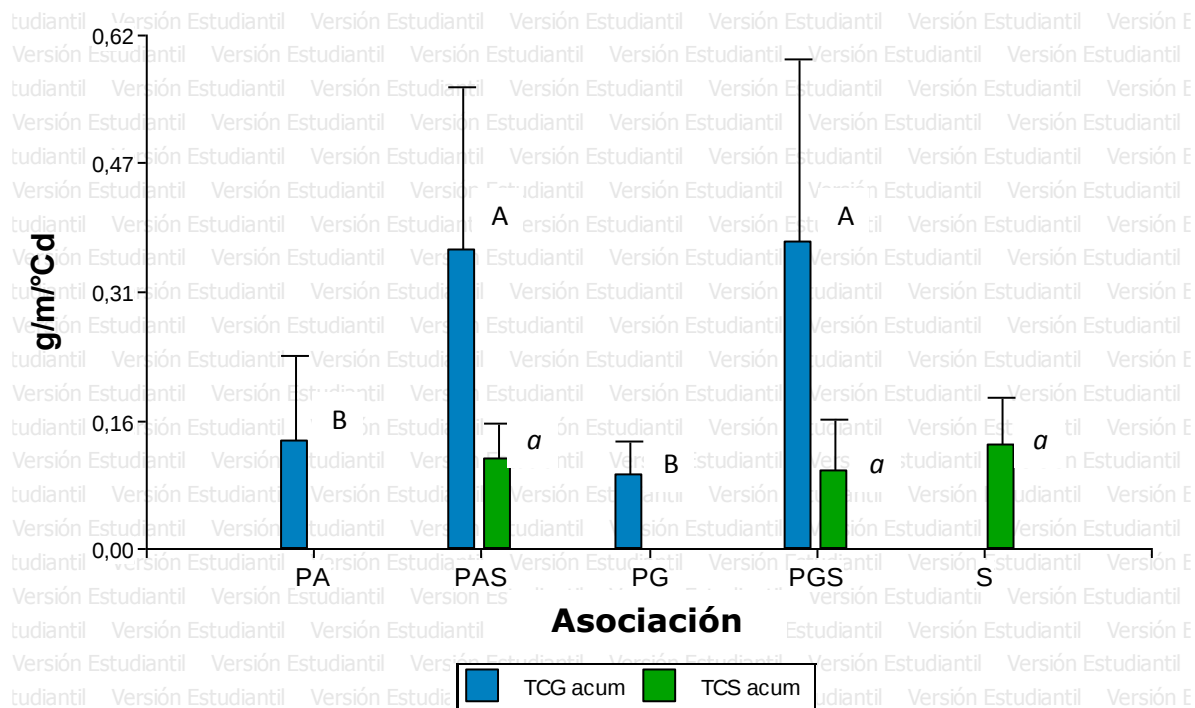


Figura 3. Tasa de crecimiento acumulada por asociaciones. PA: *Paspalum atratum*; PAS: *Paspalum atratum* + *Stylosanthes guianensis*; PG: *Paspalum guenoarum*; PGS: *Paspalum guenoarum* + *Stylosanthes guianensis*. A, B: diferencias significativas para TCG; a diferencias significativas para TCS.

Para complementar esta información se trabajó también con la tasa de crecimiento en kilogramos totales (gramínea más leguminosa) por hectárea. El análisis de la varianza indicó que no hubo interacción entre distanciamientos y asociaciones, existiendo diferencias significativas únicamente entre estas últimas.

En la Figura 4 puede observarse que entre los tratamientos PGS y PG existieron diferencias a favor de la asociación de especies, notándose una gran influencia en la respuesta productiva de este cultivar. No ocurrió lo mismo entre PAS y PA, ya que no presentaron diferencias significativas entre ellas. Esto puede atribuirse a que la TC de PA



fue un 45% mayor a la de PG, admitiéndose que PA es más eficiente que PG en suelos pobres. Pese a que la respuesta a la asociación es positiva, la magnitud de la diferencia es mayor para PG, quien tiene una baja TC estando puro. Esto puede deberse a una mayor eficiencia del uso del N para PA que le permitió desplegar más rápidamente cada hoja y a que su filocrono es menor que el de PG mientras mantienen valores similares de VMF; o bien deberse a algún factor externo a los estudiados como ser una mayor capacidad exploratoria de las raíces de PA para que logre un mayor acceso al N disponible.

Las parcelas PAS y PGS presentaron valores medios similares, mientras que entre PA y PG la diferencia se hizo notable.

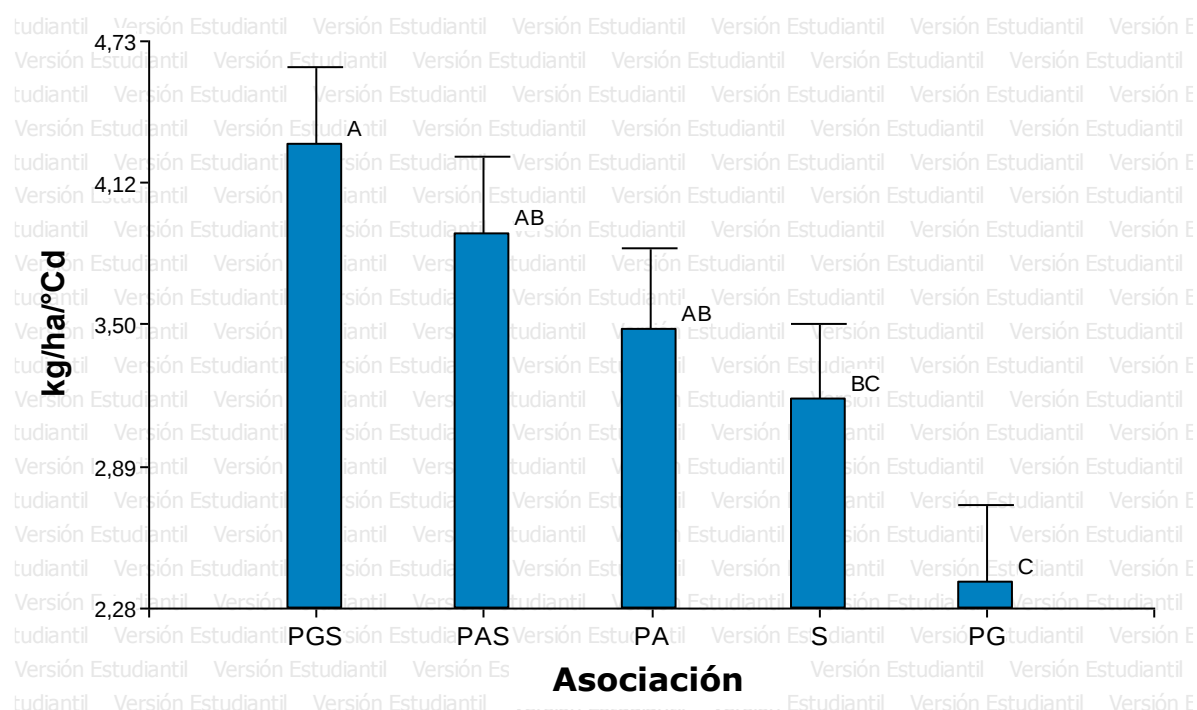


Figura 4. Tasa de crecimiento acumulada por asociación. PA: *Paspalum atratum*; PAS: *Paspalum atratum* + *Stylosanthes guianensis*; PG: *Paspalum guenoarum*; PGS: *Paspalum guenoarum* + *Stylosanthes guianensis*.

De lo anteriormente expuesto, cabe resaltar la capacidad de *Paspalum atratum* para producir MS estando en suelos con bajo contenido de N. Si bien al estar asociado mejora la tasa de crecimiento, no llega a ser significativamente mayor que el testigo. Sin embargo *Paspalum guenoarum* tiene menor capacidad productiva en suelos deficientes en N, y su



asociación con *Stylosanthes guianensis* produce efectos notorios en su TC, la que aumenta un 79%.

Índice vegetativo de diferencia normalizada

El índice vegetativo de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) ha sido medido con un sensor Greenseeker, cuyas lecturas fueron realizadas tanto sobre las gramíneas, como sobre las leguminosas, antes de que las parcelas fueran cortadas. Por ende, se tomaron al 95% de intercepción de la radiación, permitiendo que las lecturas fueran a nivel de canopeo integral, disminuyendo el error por sitios sin cobertura.

El análisis de la varianza de las lecturas sobre las gramíneas (tanto si se hallaban puras como asociadas) ha indicado interacción entre los distanciamientos y las asociaciones, siendo significativas las diferencias entre estas últimas (Anexo II).

Como puede observarse en la Figura 5, en los distanciamientos a 0,40 m y 0,60 m, *Paspalum guenoarum* en asociación con *Stylosanthes guianensis* (PGS), presentó lecturas significativamente mayores que para el mismo cultivar puro (PG) a iguales distancias. Para estos distanciamientos el cultivar de *P. atratum* en asociación con *S. guianensis* (PAS) arrojó mayores valores para las lecturas del NDVI al compararlo con el cultivar puro (PA). Para el distanciamiento a 0,20 m no existieron diferencias significativas para PA-PAS ni para PG-PGS, lo que pudo deberse tanto a la baja proporción de leguminosas que había en el lote (menor aporte de N), como a que la separación no fuera suficiente para que el sensor tomara únicamente a la gramínea.

Las parcelas puras de *Stylosanthes guianensis* (S), presentaron valores mayores que las demás parcelas, debido a la diferencia de reflectancia propia de esta especie con el género de gramíneas con el cual se compara. Los cultivares puros PA y PG, no tuvieron significativas diferencias a los distanciamientos 0,20m y 0,60 m respectivamente pero sí a 0,40 m con mayores valores para PG, probablemente porque éste sea el óptimo distanciamiento para que el lector pueda distinguir las diferencias de reflectancia que existe entre ambas especies.

Las parcelas de PG no presentaron diferencias significativas entre los tres distanciamientos, al igual que las parcelas de S. Sin embargo las lecturas obtenidas sobre PA distanciado a 0,20 m fueron superiores a las generadas por los distanciamientos a 0,40



m y 0,60 m. Cabe aclarar que PA y PG presentan diferentes estructuras de planta, contando PA con hojas más erectas que PG. Esto resultó en que al menor distanciamiento PA interceptó el 95% de la radiación antes que a los otros distanciamientos, los que fueron cortados en la última fecha de corte sin haber logrado esta condición. Por este motivo, los valores arrojados al medir reflectancia a mayores distanciamientos para la especie en cuestión pudieron verse afectados por la incidencia del suelo en la medición.

Las parcelas asociadas PAS, no presentaron diferencias significativas entre los distintos distanciamientos; lo mismo ocurrió para las parcelas PGS.

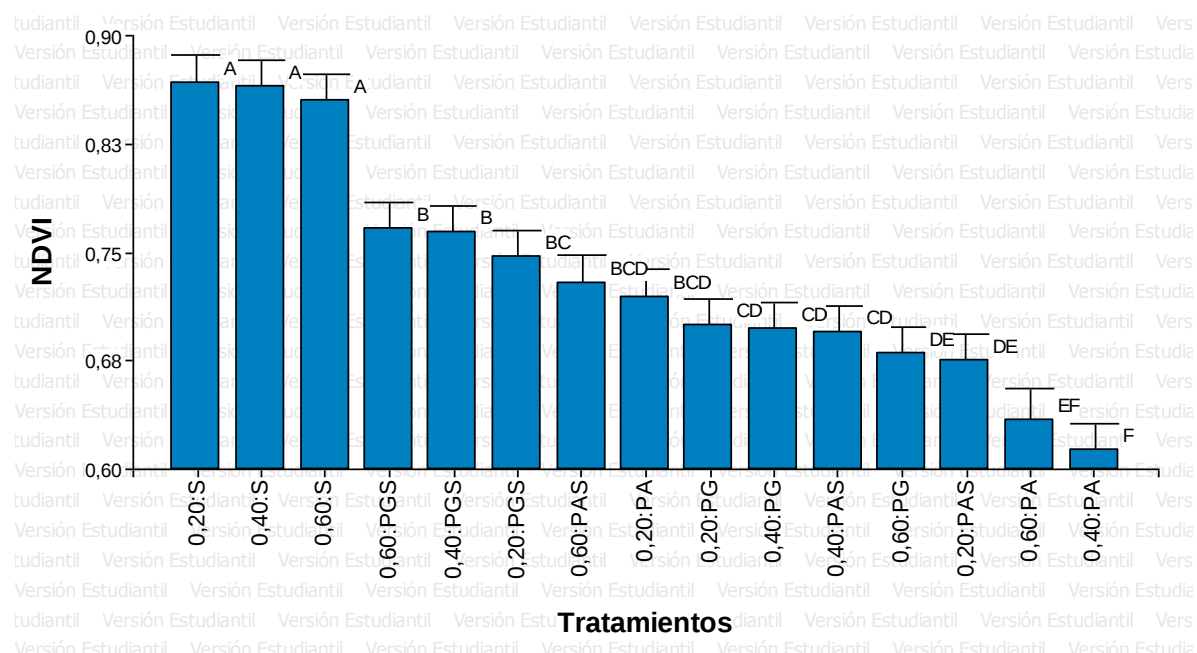


Figura 5. Valores de NDVI para cada tratamiento. PA: *Paspalum atratum*; PAS: *Paspalum atratum* + *Stylosanthes guianensis*; PG: *Paspalum guenoarum*; PGS: *Paspalum guenoarum* + *Stylosanthes guianensis* (lecturas sobre gramíneas). S: *Stylosanthes guianensis* (lecturas sobre leguminosa) Distanciamientos: 0,20 m, 0,40 m y 0,60 m.

Las lecturas que fueron tomadas sobre las leguminosas tanto puras como asociadas indicaron diferencias significativas entre ellas, siendo mayores los valores de NDVI para los tratamientos S, seguidos por los tratamientos PGS y por último PAS, excepto para PGS a 0,60 m cuyos valores fueron similares a los de S, probablemente porque permitió su mejor crecimiento. Todo esto revela una interacción entre las especies que modifica su estructura por medio de la competencia por la luz ya que en las parcelas asociadas



Stylosanthes guianensis tendió a lograr más altura que estando en parcelas puras (lo que pudo afectar los valores de NDVI para las asociaciones), además de poseer menor densidad. También podría interpretarse conjuntamente con el aumento de NDVI de las lecturas sobre las gramíneas (que presentan mayor NDVI asociadas que puras), como una transferencia de nutrientes desde la leguminosa hacia las gramíneas, mejorando al mismo tiempo su retención foliar y su tasa de crecimiento, siendo notorio el efecto que la presencia de la leguminosa tiene sobre las gramíneas. Cabe recordar que las parcelas que más producción primaria arrojaron en tasa de crecimiento tanto en g/m lineal como en kg/ha fueron las que se hallaban asociadas para *P. atratum* y *P. guenoarum*, las que presentaron mayores valores de NDVI, levemente menor filocrono y mayor VMF que las parcelas testigo correspondientes.

En cuanto a la relación entre la tasa de crecimiento y las lecturas arrojadas por el sensor Greenseeker, se utilizaron para obtener correlaciones las lecturas tomadas sobre las gramíneas para PA, que incluía parcelas tanto asociadas como puras, y para PG, con el mismo criterio; para S, se utilizaron las lecturas sobre esta especie tanto en parcelas puras como asociadas. Los valores de NDVI fueron correlacionados a sus correspondientes valores de tasa de crecimiento en gramos por metro lineal (g/m/°Cd), lo que incluye tanto la producción, como el tiempo térmico para lograrla y permite comparar la producción, debido a que la misma fue tomada separadamente para cada especie. Como puede observarse en la Figura 6 y constatarse en el Anexo III, existió correlación entre el NDVI y la TC en g/m, ya que el *p*-valor en todos los casos fue inferior a 0,05, presentando los siguientes valores de *r*: PA (*r* = 0,43), PG (*r* = 0,62) y S (*r* = 0,60); por lo que podría interpretarse una proporcionalidad directa entre los valores arrojados por el sensor y las tasas de crecimiento, pudiendo ser una buena herramienta para el control y la predicción de rendimientos de las especies en cuestión y para las asociaciones estudiadas.

La asociación entre gramíneas y leguminosas logró aumentar la producción de materia seca con respecto al tiempo térmico, incrementando la retención de hojas fotosintéticamente activas; disminuyendo levemente el filocrono por haber favorecido una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, razón por la cual las plantas mejor nutridas lograron aumentar su reflectancia, permitiendo mayores valores de NDVI.

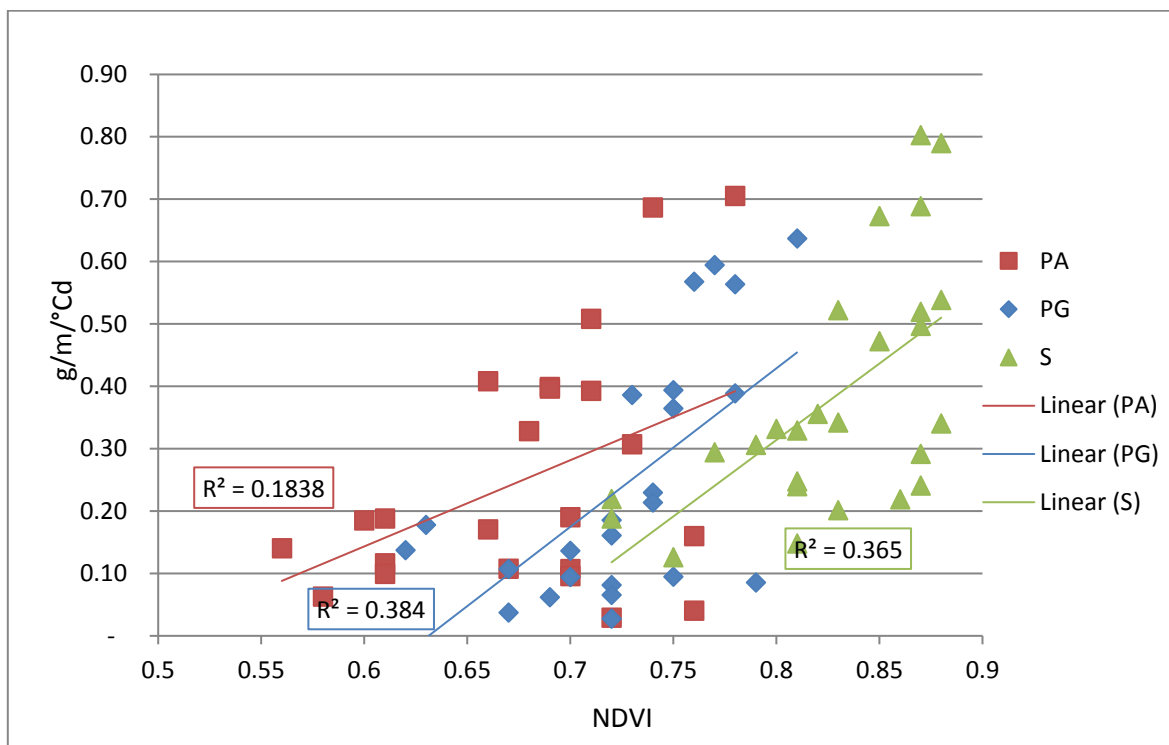


Figura 6. Correlación entre NDVI y Tasa de Crecimiento en gramos por metro para el corte 1. PA: *Paspalum atratum* puro y asociado. PG: *Paspalum guenoarum* puro y asociado. Para ambas especies, las lecturas fueron tomadas sobre la gramínea únicamente. S: *Stylosanthes guianensis* parcelas puras y asociadas, lecturas tomadas sobre la leguminosa.

Conclusiones

La presente tesina permitió confirmar las hipótesis planteadas en los objetivos propuestos. Como primer punto, las características morfológicas evaluadas (TSF y VMF), permitieron afirmar que en condiciones de suelos con bajo contenido de nitrógeno, la asociación de *Paspalum atratum* y *Paspalum guenoarum* con *Stylosanthes guianensis*, tiene un efecto significativo sobre el filocrono y la vida media foliar de las gramíneas, disminuyendo el tiempo requerido para desplegar cada hoja y prolongando el tiempo de retención de las mismas.

Esto generó un aumento en la capacidad de producir biomasa en ambas gramíneas, lo que se evidencia en la mayor producción de gramos por metro al encontrarse asociadas con la leguminosa. A su vez, los niveles de producción totales de cada parcela asociada fueron similares, pero la magnitud de las diferencias con sus correspondientes parcelas testigo evidenciaron que el efecto de la asociación fue mayor para *P. guenoarum* que para *P.*



atratum, ya que este último posee mayor capacidad productiva en suelos pobres que *P. guenoarum*.

Se espera que la incorporación de la leguminosa al sistema haya aumentado la disponibilidad de nutrientes, principalmente de nitrógeno, mejorando la nutrición de ambas especies de *Paspalum*. Esto puede ser evidenciado en la diferencia de la reflectancia captada por el sensor Greenseeker, cuyos valores aumentan con la asociación de especies, al igual que la producción de materia seca.

Los diferentes distanciamientos tuvieron influencia en casi todas las características estudiadas, a medida que la separación entre líneas de siembra disminuía, también lo hacía la VMF, la producción primaria y el NDVI, probablemente debido a que la competencia por la luz y los nutrientes es mayor en estos casos.

Bibliografía

- Agnusdei, M. 1999. Analyse de la dynamique de la morphogenèse foliaire et de la défoliation de plusieurs espèces de graminées soumises à un pâturage continu dans une communauté végétale de la Pampa Humide (Argentine). Thèse (Doctorat-Agronomie). Institut National Polytechnique de Lorraine. P: 108.
- Andrew, C. S. y M. F. Robins. 1969. Effects of phosphorus on the grow and chemical composition of some tropical pasture legumes. Growth and critical percentages of phosphorus. Australian Journal of Agricultural Research. Vol. 20. P: 665 -674.
- Bogdan, A. B. 1977. Grasses and legumes. Tropical Agriculture Series. Longman Inc. New York. P: 475.
- Chapman, D. F. y G. Lemaire. 1993. Morphogenetic and structural determinats of plant regrowth after defoliation. En: Baker, M. J. (Ed.). Grasslands for our world. Sir Publishing, Wellington. P: 55-64.
- Colabelli, M., A. Mazzanti y M. Labreveux. 1998. Boletín técnico N^{ro}148. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. INTA, Centro Regional Buenos Aires Sur. EEA Balcarce, Provincia de Buenos Aires. P: 6-17.
- Cruz, F. P.e I. I. Boldrini. 1998. Dinâmica de crescimento, desenvolvimento e desfolhação em *Andropogon lateralis* Nees. En: Reunião do grupo técnico em forrageiras do cone-sul, 17. Lages: Epagri/Udesc. P: 99.
- Eggers, L., M. Cadenazzi e I. I. Boldrini. 2004. Phyllochron of *Paspalum notatum* Fl. and *Coelorhachis selloana* (Hack.) Camus. En: natural pasture. Scientia Agrícola. Vol. 61 (4).P: 353-357.



- Fachinetto, J. M. 2010. Caracterização agronômica, molecular, morfológica e determinação do nível de ploidia em uma coleção de acessos de *Paspalum notatum* Flüggé. Dissertação (Mestrado). UFRGS, Porto Alegre. P: 142.
- Grant, S. A. y C. A. Marriott. 1994. Detailed studies of grazed swards: techniques and conclusions. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge. Vol. 122. P: 1-6.
- Hatfield, J. L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers y C. L. Walthall. 2008. En: *Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions in Agron. J.* 100. American Society of Agronomy. Madison, WI, Unites States of America. P: 117-131.
- Henik, J. J., A. D. Knapp, K. J. Moore y C. L. Burras. 2012. Normalized difference vegetative index used to identify spatial variability in vegetative growth and grain yield of corn. Online. *Crop Management* doi: 10.1094/CM-2012-0824-01-RS.
- INTA. 1994. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Lascano, C. E. 1999. Selective grazin gongrass-legume mixtures in tropical pastures. En: Anibal de Moraes et al. (eds.). *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Curitiba, Paraná, Brasil. P: 151-164.
- Lemaire, G y D. Chapman. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: Hodgson, J.; Illius, A. W. (Eds.). *The ecology and management of grazing systems*. Cab International. P: 03-36.
- Machado, J. M. 2010. Morfogênese de gramíneas nativas sob níveis de adubação nitrogenada. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. P: 78
- Miles, J. W. y Lascano, C. E. 1997. *Stylosanthes* development and utilization in South America. *Tropical Grasslands*, vol. 31, n° 5, p. 454-459.
- Moore, K. J. y Moser, L. E. 1995. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Science*, Madison. V:35, N:1, P: 37-43.
- Moraes, A., G.E. Maraschin y C. Nabinger. 1995. Pastagens no ecossistema de clima subtropical. En: *Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros*. Brasília, DF. P: 147-200.
- Nabinger, C. y L. Pontes. 2001. Morfogênese de plantas forrageiras e a estrutura do pasto. En: Mattos, W. R. S.(org.) *Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia*, 34. Piracicaba: Fealq. P:755-771.
- Ometto, J.C. 1981. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres. P: 440.
- Pakinding, W. y M. Hirata. 2001. Leaf appearance, death and detachment in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. *Tropical Grasslands*. Vol.35 (2). P: 114-123.



- Roncedo, C. S. y H. E. Pérez. 2005. Intersiembra de leguminosas forrajeras en pasturas degradadas de *Chloris gayana* Kunt cv. Pioneer. *Pasturas Tropicales*, Vol. 27 (3). P: 66-69.
- Schultze-Kraft, R y P. C. Giacometti. 1979. Recursos genéticos de leguminosas forrajeras para las sabanas de suelos ácidos e infértiles de América Tropical. En Tergas, L. E. y P. A. Sánchez (Eds). *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*, CIAT. P: 59-69.
- Steiner, M. G. 2005. Caracterização agronômica, molecular e morfológica de acessos de *Paspalum notatum* Flüggé e *Paspalum guenoarum* Arech. Dissertação (Mestrado). UFRGS, Porto Alegre. P: 138.
- Urbani, M. H. y C. L. Quarín. 2003. "Chané" y "Cambá": dos nuevas alternativas de gramíneas forrajeras para el nordeste argentino. *Actas 2º Congreso Mundial BRAFORD*. Corrientes. 30/31 de mayo de 2003.



Anexos

Anexo I

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Vida Media Foliar E	231	0,25	0,21	32,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1740248,86	11	158204,44	6,52	<0,0001
Distancia	152871,82	2	76435,91	3,15	0,0448
Asociación	1098147,66	3	366049,22	15,09	<0,0001
Distancia*Asociación	450085,67	6	75014,28	3,09	0,0063
Error	5312468,25	219	24257,85		
Total	7052717,11	230			

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 24257,8459 gl: 219

Distancia	Asociación	Medias	n	E.E.				
0,60	PGS	613,48	20	34,83	A			
0,40	PGS	602,53	20	34,83	A	B		
0,60	PAS	596,97	20	34,83	A	B		
0,40	PAS	570,24	20	34,83	A	B	C	
0,20	PGS	495,86	19	35,73	B	C	D	
0,20	PG	468,21	19	35,73		C	D	E
0,60	PG	418,18	18	36,71			D	E
0,20	PAS	415,80	18	36,71			D	E
0,20	PA	409,17	19	35,73			D	E
0,60	PA	409,17	19	35,73			D	E
0,40	PA	409,17	19	35,73			D	E
0,40	PG	376,37	20	34,83				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo II

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lectura	59	0,85	0,80	5,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,35	14	0,02	17,41	<0,0001
Distancia	2,3E-03	2	1,1E-03	0,80	0,4564
Asociación	0,32	4	0,08	55,38	<0,0001
Distancia*Asociación	0,03	8	4,0E-03	2,78	0,0139
Error	0,06	44	1,4E-03		
Total	0,41	58			



Anexo III

Coeficientes de correlación

Especie = PA

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	NDVI	TC gramos
NDVI	1,00	0,04
TC gramos	0,43	1,00

Especie = PG

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	NDVI	TC gramos
NDVI	1,00	1,3E-03
TC gramos	0,62	1,00

Especie = S

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	NDVI	TC gramos
NDVI	1,00	1,1E-03
TC gramos	0,60	1,00