



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Tesis para acceder al título de Magister
en Ciencias Agropecuarias

**EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOGENÉTICAS Y
PRODUCTIVAS DE *Digitaria eriantha* STEUD.: SU RELACIÓN CON
VARIABLES AMBIENTALES Y FRECUENCIAS DE DEFOLIACIÓN**

AUTOR: Ing. Agr. Ricardo Enrique Rossi

DIRECTORA: Dra. M.J. Liliana Privitello

Río Cuarto, Diciembre de 2018

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y Fecha.....

Calificación.....

JURADO

Firma.....Aclaración.....

Firma.....Aclaración.....

Firma.....Aclaración.....

*“La ciencia se compone de errores, que a su vez son
los pasos hacia la verdad”*

Jules Verne

Dedicatoria

Dedicado a quienes amo profundamente porque son parte de mi vida y por todo lo compartido,

Sin ellos todo sería nada

A mi mujer y compañera Andrea, por su dulzura y su incondicional apoyo

A mis hermanos mayores, Lilo y Guille, que son pilares fundamentales de mi vida

A mis padres por permitirme construir mi camino

A mis amigos que siempre están para lo que sea

A mis sobrinos Caro, Mariano, Gastu, Agus y Flopy, que no dejan de llenarme de alegría, energía y esperanza.

A la Chichina, porque me recibió como un miembro más de su hermosa familia, porque coincidimos en muchas cosas, por todos los almuerzos de los sábados y sobre todo por ser una fantástica persona.

A mis abuelos, Rolo e Irma, por el amor que me brindaron y todo lo que me enseñaron; a la nona Yoli y mi tía Pocha, por el amor brutalmente incondicional, por su dulzura, por sus enseñanzas y por ser ese tipo de personas especiales que, si tenés suerte como yo, podrás conocer una vez en tu vida. Aunque ya no están conmigo, viven en mi corazón y en mis pensamientos, y muchas veces los veo en mis acciones, y a quienes extraño más que a nada en el mundo.

“Conocer el amor de los que amamos es el fuego que alimenta la vida”

Pablo Neruda

“Uno no puede hacer nada por las personas que ama, sólo seguir amándolas”

Fernando Savater

A mi Clementina: *“No era más que un zorro semejante a cien mil otros. Pero yo le hice mi amigo y ahora es único en el mundo.”*

Antoine de Saint-Exupéry

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Río Cuarto y a todos los docentes de la carrera de posgrado que se brindaron abiertamente a la posibilidad de permitirme crecer académicamente.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), lugar donde me desempeñé como docente – investigador, por el apoyo económico, y por permitirme emprender este camino de evolución personal y profesional.

Este arduo trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo y participación de mis compañeros de trabajo. Por ello quiero agradecer profundamente a Fernando Bacha por su colaboración durante las mediciones, su apoyo en los cursos compartidos en esta maestría, y por todas las sugerencias y aportes que me brindó. A Omar “Ruli” Vetore, mi querido compañero de cursos de posgrado en la maestría, con quien compartí profundas y hermosas charlas en los viajes, quien convirtió esos momentos en situaciones placenteras que siempre voy a recordar, y por su incondicional ayuda en tareas de campo. A Sandra, María y Lucía por su contención, su compañerismo, y sus consejos que me permitieron avanzar en momentos de dificultad.

También agradezco a mis compañeros de cursos de la maestría; a Javier, Rita, Roberto, Walter, Laura, Yanina; que me recibieron como uno más, me facilitaron muchas cosas durante mi estadía en Río Cuarto, por las rondas de mates en la facultad y porque me permitieron sentirme rodeado de amigos.

Finalmente quiero brindar un especial agradecimiento a quien me permitió crecer y avanzar profesionalmente en el ámbito de la docencia y la investigación, a mi querida, única e incomparable directora Lili Privitello, con quien compartí un largo tiempo de discusiones y coincidencias, entusiasmo y frustraciones, que me permiten darme cuenta hoy, de lo mucho que ella me brindó, de manera desinteresada, abierta, incondicional, y con su especial aporte. Le agradezco no sólo por eso, sino también porque es una maravillosa persona que siempre logra sorprenderme.

Resumen

Digitaria eriantha Steud. cv Irene es una especie perenne utilizada en sistemas ganaderos de San Luis. La morfogénesis se describe por: aparición de hojas (tasa de aparición (TAH); filocrono (Fc) e intervalo de aparición (IAH)), tasa de elongación foliar (TEF) y vida media foliar (VMF). Los caracteres estructurales son: longitud de lámina foliar (LLF), densidad de macollos y número de hojas por macollo (vivas (NHV) y totales (NHT)). Las variables estructurales determinan el IAF y afectan la capacidad de intercepción de la radiación (IR). El conocimiento de la morfogénesis y estructura sirven para establecer pautas de manejo. Se plantearon como objetivos: estimar la temperatura base de crecimiento; evaluar el comportamiento morfogenético, estructural, productivo, fenológico, índice de clorofila y la captura de radiación de *Digitaria*, con y sin restricciones de nitrógeno e hídricas; comparar la relación hoja:tallo, comportamiento productivo, densidad de macollos y captura de radiación de *digitaria* sometida a frecuencias de defoliación que contemplen o no la morfogénesis; y evaluar la eficiencia de utilización de recursos ambientales. Se plantearon 2 ensayos: para el ensayo 1, se colocó una planta por maceta y se identificaron 3 macollos/planta (submuestra) en diseño de parcelas divididas con arreglo factorial (2 x 2). Se plantearon dos frecuencias de riego: eventual (Re) (cuando la planta tenía síntomas de marchitez), y frecuente (Rf). Se usaron dos niveles de fertilización: testigo (N0) y 200 kgN/Ha (N200). Se conformaron 4 tratamientos (ReN0; ReN200; RfN0; RfN200) con 5 repeticiones. Se registró la respuesta de variables morfogenéticas, estructurales, fenológicas, acumulación de biomasa, intercepción de la radiación (IR), IAF, eficiencia de uso de radiación (EURFAi) y agua (EUA); e índice de clorofila (IC). En ensayo 2 se conformaron tratamientos según frecuencia de corte en parcelas: a tiempo fijo (CTF: mensuales), corte en VMF (CVMF: al inicio de senescencia) y al final del ciclo (CCC). El diseño fue de bloques completos aleatorizados (3 repeticiones). Se determinó: acumulación de biomasa aérea, relación T/H, IR, IAF, EURFAi, EUA y densidad de macollos. Altos niveles de nitrógeno generaron mayores TEF, TAH y LLF, y menor IAH, Fc y VMF. Un nivel de agua no restrictivo ocasionó mayor VMF y retrasó la senescencia, a la vez que en una relación sinérgica con el nitrógeno estimuló NHV y LLF y deprimió el NHT. La fertilización adelantó etapas reproductivas y aumentó la cantidad de macollos reproductivos. Las plantas fertilizadas lograron mayores IC, IR, IAF y por lo tanto, más biomasa y mejor eficiencia de uso de recursos (EURFAi y EUA). Elevadas frecuencias de defoliación (CTF) ofrecieron menor proporción de tallo, pero aumentaron densidad de macollos, disminuyeron IAF y los

niveles de intercepción, lo que redujo la biomasa y eficiencia de uso de los recursos ambientales. CVMF logró aumentar la producción de materia seca (MS) y eficiencia de uso de los recursos, como resultado de un mayor desarrollo de la canopia con mejor niveles de captura de la radiación que CTF. La temperatura base de crecimiento estimada para el año de estudio fue de 7 °C. El nitrógeno aumenta el tamaño del macollo, calidad nutricional, acelera morfogénesis y fenología, mientras que el agua retrasa la senescencia, y potencia el efecto del nitrógeno en el crecimiento foliar. El aumento en el nivel de un recurso limitante permite mejor utilización de otros no restrictivos. Digitaria alcanza la máxima intercepción de la radiación (90 a 95%) con alto índice de área foliar (5-6), y con IAF menores (3) aún intercepta altos valores de radiación (80%). Frecuencias de defoliación de digitaria entre 40 y 60 días según la disponibilidad de recursos (agua, temperatura y nitrógeno) y objetivos productivos (calidad y rendimiento de MS) resultan apropiadas.

Palabras clave: *Digitaria eriantha*, morfogénesis, estructura, defoliación, nitrógeno, riego, manejo, radiación.

Abstract

Digitaria eriantha Steud. it is a perennial species used in livestock systems of San Luis. Morphogenesis is described by: appearance of leaves (appearance rate (LAR), phyllochron (Ph) and appearance interval (AI)), leaf elongation rate (LER) and leaf lifespan (LLS). The structural characters are leaf blade size (LBS), density of tillers and number of leaves per tiller (live (NLL) and total (NTL)). The structural variables determine the LAI and affect the interception capacity of the radiation (IR). The knowledge of morphogenesis and structure is for establish management guidelines. The following objectives were proposed: estimate the base temperature of growth; evaluate the morphogenetic, structural, productive, phenological, chlorophyll index and radiation capture of digitgrass, with and without nitrogen and hydric restrictions; compare stem:leaf ratio, productive behavior, density of tillers and radiation capture of digitgrass subjected to defoliation frequencies that contemplate or not the morphogenesis; and evaluate the efficiency of utilization of environmental resources. Two trials were proposed: for trial 1, one plant per pot was placed and 3 tillers/plant (subsample) were identified in a split-plot design with factorial arrangement (2 x 2). Two irrigation frequencies were planted: eventual (Re) (when the plant had symptoms of wilting), and frequent (Rf). Two levels of fertilization were used: control (N0) and 200 kgN/Ha (N200). Four treatments were formed (ReN0, ReN200, RfN0,

RfN200) with 5 repetitions. The response of morphogenetic, structural, phenological variables, biomass accumulation, radiation interception (IR), IAF, radiation (RUE) and water (WUE) use efficiency; and chlorophyll index (CI) was registered. In trial 2 treatments were formed according to the cut frequency in plots: at fixed time (FTC: monthly), in LLS (LLSC: at the beginning of senescence) and at the end of the cycle (CCC). Completely randomized blocks design was used (3 repetitions). It was determined: aerial biomass accumulation, S:L ratio, IR, LAI, RUE, WUE and density of tillers. High levels of nitrogen generated higher LER, LAR and LBS, and lower AI, Ph and LLS. The water caused higher LLS and delayed senescence, at the same time that in a synergistic relationship with nitrogen stimulated NLL, higher LBS and lower NTL. Fertilization anticipated reproductive stages and increased the number of reproductive tillers. The fertilizers achieved higher CI, IR, LAI and, therefore, more biomass and better resource use efficiency (EURFAi and WUE). High defoliation frequencies offered a lower proportion of stem, but increased density of tillers, achieved lower LAI and low levels of interception, which reduced biomass and resource use efficiency. LLSC allowed to increase production and resources use efficiency, as a result of a greater development of the canopy with moderate levels of radiation capture. The base temperature of growth estimated for the year of study was 7 °C. Nitrogen increases the size of the tiller, nutritional quality, accelerates morphogenesis and phenology, while water delays senescence, and improve the effect of nitrogen on leaf growth. The increase in the level of a limiting resource allows better use of others without restrictions. *Digitaria* reaches the maximum radiation interception (90 to 95%) with high leaf area index (5-6), and with lower LAI (3) it still intercepts high radiation values (80%). Frequency of defoliation of digitgrass between 40 and 60 days according to the availability of resources (water, temperature and nitrogen) and according to productive objectives (quality and production) are appropriate.

Key words: *Digitaria eriantha*, morphogenesis, structure, defoliation, nitrogen, irrigation, management, radiation.

Evaluación de características morfogenéticas y productivas de *Digitaria eriantha* Steud.: Su relación con variables ambientales y frecuencias de defoliación

ÍNDICE

Resumen en español.....	v
Abstract.....	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xv
Glosario de abreviaturas.....	xviii
1. Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Características generales de la región	1
1.1.1. Cambios en la utilización del suelo	4
1.2. Marco teórico y antecedentes	5
1.2.1. Especies forrajeras difundidas en San Luis. Características morfológicas y productivas de digitaria	5
1.2.2. Ecofisiología, estructura y morfogénesis de las gramíneas forrajeras.....	8
1.2.3. Calidad nutricional del forraje.....	12
1.2.4. Defoliación de la pastura	15
1.2.5. Estudios actuales de morfogénesis en pasturas poáceas.....	18
1.3. Fundamentación, beneficiarios y brecha del conocimiento	19
2. Capítulo 2: Hipótesis y Objetivos	21
2.1. Objetivos generales	21
2.2. Objetivos específicos.....	21
2.3. Hipótesis.....	23
2.4. Contribución a la ciencia.....	24
3. Capítulo 3: Materiales y métodos	25
3.1. Ensayo 1: Plantas de <i>Digitaria eriantha</i> Steud. cv Irene en macetas	25
3.2. Ensayo 2: Parcelas de <i>Digitaria eriantha</i> Steud. cv Irene	30
3.3. Tiempo Térmico (TT) y temperatura base (Tb).....	30
3.4. Variables a analizar	31
3.4.1. Etapas fenológicas	32
3.4.2. Tallos florales	32
3.4.3. Estructura y morfogénesis	32
3.4.4. Intercepción de la radiación (IR).....	34
3.4.5. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) acumulada por la canopia y tasa de captura diaria (TRFAi).....	35

3.4.6. Índice de área foliar (IAF).....	35
3.4.7. Eficiencia en la utilización de la radiación fotosintética activa interceptada (EUR).....	36
3.4.8. Eficiencia en la utilización del Agua recibida por precipitaciones y riego (EUA).....	36
3.4.9. Eficiencia agronómica en la utilización del nitrógeno aplicado (EAN)....	36
3.4.10. Acumulación de biomasa aérea (ABA).....	37
3.4.11. Relación de biomasa entre tallo y hoja.....	37
3.4.12. Índice de clorofila.....	37
3.4.13. Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN).....	38
3.5. Análisis estadístico-matemático de resultados.....	38
4. Capítulo 4: Resultados y discusión.....	42
4.1. Análisis de variables climáticas y meteorológicas.....	42
4.1.1. Temperaturas medias mensuales.....	42
4.1.2. Precipitaciones.....	43
4.2. Ensayo 1 - Macetas.....	44
4.2.1. Determinación de la temperatura base de crecimiento.....	44
4.2.2. Etapas Fenológicas de las plantas.....	45
4.2.3. Cantidad de tallos florales.....	52
4.2.4. Variables morfogénicas.....	53
4.2.5. Variables estructurales.....	67
4.2.6. Intercepción de radiación (IR), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) e índice de área foliar (IAF).....	85
4.2.7. Acumulación de biomasa.....	96
4.2.8. Índice de Clorofila.....	99
4.2.9. Eficiencia de uso de los recursos (luz, agua y nitrógeno).....	110
4.2.10. Síntesis de resultados del primer ensayo.....	112
4.3. Ensayo 2.....	117
4.3.1. Acumulación de biomasa.....	117
4.3.2. Relación tallo:hoja (T/H).....	121
4.3.3. Densidad de macollos al final del ciclo de crecimiento.....	123
4.3.4. Cambios en IAF, intercepción de radiación y acumulación de RFAi.....	124
4.3.5. Eficiencia de uso de los recursos lumínicos e hídricos.....	132
4.3.6. Síntesis de resultados del segundo ensayo.....	133
4.4. Integración de resultados.....	135
5. Conclusiones.....	138

6. Bibliografía	141
7. ANEXOS	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de riegos aplicados (N° de riegos), lámina total aplicada (mm), precipitaciones acumuladas (mm) y agua total recibida (mm) para cada tratamiento.	29
Tabla 2. Nivel pluviométrico estacional: cantidad de riegos aplicados, lámina total recibida (riego más precipitaciones en mm) y agua total recibida por semana (mm/semana) durante la primavera (inicio de rebrote a noviembre), verano (diciembre, enero y febrero) y marzo para cada tratamiento.....	29
Tabla 3. Temperaturas medias mensuales históricas (período 1932 – 1999), recientes (2000 – 2008), del año de estudio (2015 – 2016) y las diferencias entre el período de estudio (2015 – 2016) con las temperaturas históricas y recientes*.	42
Tabla 4. Precipitaciones medias mensuales para el período histórico (1903 – 1999), período reciente (2000 – 2008) (Veneciano y Federigi, 2008). Precipitaciones ocurridas durante el ensayo (2015 – 2016) y los porcentajes de variación.....	43
Tabla 5. Coeficientes de la regresión lineal: número de hojas totales (NHT) con la temperatura media diaria del período previo (°C).....	45
Tabla 6. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia del inicio de la elongación (iE), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.	45
Tabla 7. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la elongación (E), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	46
Tabla 8. Medidas de resumen: media, desvío estándar, n, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia del estado fenológico hoja bandera (HB), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	46
Tabla 9. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la hoja bandera (HB), calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote...	47
Tabla 10. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la hoja bandera (HB), calculada como acumulación de días desde el rebrote.....	47
Tabla 11. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración del estado fenológico Hoja bandera, calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.	47
Tabla 12. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la aparición de la panoja (Ap. P), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	48
Tabla 13. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia de la aparición de la panoja (Ap. P), calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote.....	49
Tabla 14. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la aparición de la panoja, calculada como acumulación de días desde el rebrote.	49

Tabla 15. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la floración (formación de la panoja), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	49
Tabla 16. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la antesis (An), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	50
Tabla 17. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del inicio de la antesis, calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote.....	50
Tabla 18. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del inicio de la antesis, calculada como acumulación de días desde el rebrote.....	50
Tabla 19. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la antesis, calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	51
Tabla 20. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la fructificación (Fr), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.....	52
Tabla 21. Medidas de resumen: media, desvío estándar, n, error estándar y coeficiente de variación para el número de tallos florales según tratamiento.	53
Tabla 22. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD Fisher) para el número de tallos florales según el nivel de nitrógeno aplicado.	53
Tabla 23. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la tasa de elongación de lámina foliar máxima del macollo (TEFm máx) según tratamiento.	55
Tabla 24. Media, desvío estándar, error estándar, y diferencia de medias (LSD) para la tasa de elongación de lámina foliar máxima del macollo (TEFm máx) según tratamiento.....	55
Tabla 25. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test DGC) para el intervalo de aparición de hojas (IAH) según tratamientos.	58
Tabla 26. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el filocrono (Fc) según tratamientos.....	59
Tabla 27. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la tasa de aparición de hoja (TAH) según tratamientos.....	60
Tabla 28. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la tasa de aparición de hoja (TAH) según tratamientos.....	60
Tabla 29. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según tratamientos.	61
Tabla 30. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la vida media foliar (VMF) en tiempo térmico según tratamientos.....	61
Tabla 31. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según nivel del factor fertilización nitrogenada.....	62

Tabla 32. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo térmico según nivel del factor fertilización nitrogenada.	62
Tabla 33. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según nivel del factor riego.	62
Tabla 34. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo térmico según nivel del factor riego.	62
Tabla 35. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la tasa de senescencia máxima (Tsc Máx) según tratamientos.	66
Tabla 36. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la tasa de senescencia máxima (TSc Máx) según fertilización nitrogenada.	66
Tabla 37. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para Número total de hojas (NHT) desarrolladas durante el ciclo de crecimiento según tratamiento.	67
Tabla 38. Coeficientes de correlación de Pearson y su p-valor entre el número de hojas totales versus la fertilización.	68
Tabla 39. Porcentaje de la fenología alcanzada durante todo el ciclo para los macollos identificados diferenciados según tratamiento.	70
Tabla 40. Coeficientes de correlación de Pearson y su p-valor entre el número de hojas totales y el número de tallos florales.	72
Tabla 41. Media, desviación estándar, error estándar y diferencia de medias por test LSD para el número de hojas vivas (NHV) por macollo.	72
Tabla 42. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para para la longitud de lámina foliar máxima (LLFm máx) durante los primeros 100 ddr según tratamientos.	79
Tabla 43. Porcentaje de los macollos vegetativos identificados que siguieron diferentes patrones de crecimiento de LLFm para tratamientos no fertilizados.	85
Tabla 44. Media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la máxima intercepción de radiación (IR máx) durante todo el ciclo según tratamientos.	86
Tabla 45. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la máxima intercepción de la radiación (IR máx) según nivel del factor fertilización nitrogenada.	87
Tabla 46. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el momento en que los tratamientos alcanzan una intercepción de radiación del 80% (IR 80) medido en tiempo cronológico y térmico.	88
Tabla 47. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del 80 % de intercepción (IR 80) según nivel de fertilización nitrogenada medido en tiempo cronológico (ddr) y tiempo térmico (°C día).	88

Tabla 48. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según tratamientos.	89
Tabla 49. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.	89
Tabla 50. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de área foliar máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según tratamientos.	92
Tabla 51. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de área foliar máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.	93
Tabla 52. Valores predichos de IAF de los diferentes modelos de regresión establecidos según tratamiento.	95
Tabla 53. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según tratamientos.	97
Tabla 54. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según nivel de fertilización.	97
Tabla 55. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la acumulación de biomasa de tallos (ABt) según tratamientos.	98
Tabla 56. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para acumulación de biomasa de tallos (ABt) según nivel de fertilización.	98
Tabla 57. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el valor máximo del índice de clorofila (IC máx) durante todo el ciclo según tratamientos.	99
Tabla 58. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el valor máximo del índice de clorofila (IC máx) según nivel de fertilización.	99
Tabla 59. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el valor del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC promedio según tratamientos.	103
Tabla 60. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC promedio según fertilización.	104
Tabla 61. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC máximo (27 de noviembre) según tratamientos.	104
Tabla 62. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.	105
Tabla 63. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.	106

Tabla 64. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.....	106
Tabla 65. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.....	107
Tabla 66. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.....	107
Tabla 67. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.....	108
Tabla 68. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.....	108
Tabla 69. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según fertilización.....	108
Tabla 70. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.....	109
Tabla 71. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.....	109
Tabla 72. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) según tipo de hoja.....	109
Tabla 73. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la eficiencia de uso de la RFAi (EURFAi) según tratamiento.....	110
Tabla 74. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso de la RFAi (EURFAi) de todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.....	111
Tabla 75. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la eficiencia de uso del agua (EUA) según tratamiento....	112
Tabla 76. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias para la eficiencia agronómica de la utilización del nitrógeno aplicado (EAN) según nivel de factor riego.....	112
Tabla 77. Variables morfogénicas y estructurales reportadas por diferentes autores para distintas especies.....	116
Tabla 78. Media, n, número de cortes, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según tratamiento.....	117
Tabla 79. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) por corte según tratamiento.....	119
Tabla 80. Media, desvío estándar y diferencia de medias (LSD Fisher) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) de cada tratamiento discriminado por corte. Comparación dentro de cada fila.....	120

Tabla 81. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa de hojas (ABH) según tratamiento.	121
Tabla 82. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa de tallos (ABt) según tratamiento.	121
Tabla 83. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la relación tallo:hoja en base seca (T/H) según tratamiento.	122
Tabla 84. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la densidad de macollos según tratamiento.	123
Tabla 85. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la máxima intercepción de la radiación alcanzada durante el ciclo de crecimiento (IR máx) según tratamiento.	125
Tabla 86. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según tratamientos.	126
Tabla 87. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) por corte según tratamientos.	127
Tabla 88. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para IAF máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según tratamientos.	130
Tabla 89. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso de la RFA interceptada (EURFAi) alcanzada durante todo el ciclo según tratamientos.	132
Tabla 90. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso del agua (EUA) alcanzada durante todo el ciclo según tratamientos.	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grandes áreas ganaderas de San Luis.	2
Figura 2. Precipitación media anual para el período 1960 – 1999.	3
Figura 3. Mapas de temperaturas (°C): media mes más cálido, máxima media mes más cálido, media del mes más frío, mínima media del mes más frío y mínima absoluta, respectivamente.	3
Figura 4. Mapa de suelos de San Luis.	4
Figura 5. Zona de adecuación de digitaria.	7
Figura 6. Relaciones entre características morfogénicas de las plantas y variables estructurales de las pasturas.	11
Figura 7. Modelo conceptual de las relaciones suelo-clima-planta-animal.	17

Figura 8. Regresión lineal simple: relación lineal entre las hojas aparecidas (NHT) y la temperatura media diaria para un período de un intervalo de aparición de hojas (IAH en días).	44
Figura 9. Media de la TEF por lámina sin discriminar tratamientos (mm/día.hoja).	54
Figura 10. Tasa de elongación de lámina foliar del macollo (TEF _{mac}) por tratamiento durante la primavera, según ddr (a) y TT (b)	56
Figura 11. Evolución de la acumulación de la senescencia foliar (ACSc) (mm/macollo) y de la tasa de senescencia (TSc) calculada a través del tiempo (ddr). Tratamientos con fertilización.	64
Figura 12. Evolución de la acumulación de la senescencia foliar (ACSc) (mm/macollo) y de la tasa de senescencia (TSc) calculada a través del tiempo (ddr). Tratamientos sin fertilización.	65
Figura 13. Velocidad de acumulación de hojas por macollo (NHT) desde el rebrote primaveral.	68
Figura 14. Velocidad de acumulación de hojas de los macollos (NHT) según el tiempo térmico transcurrido.	69
Figura 15. Número total de hojas según tratamiento y fenología final alcanzada.	71
Figura 16. Número total de hojas según fertilización y fenología final alcanzada. Tratamientos seguidos de la letra “R” alcanzan etapas reproductivas en algún momento. Tratamientos seguidos de la letra “V” no llegan a diferenciarse.	71
Figura 17. Media \pm error estándar del número máximo de hojas vivas en macollos de <i>Digitaria eriantha</i> para cada combinación de niveles de los factores riego y fertilización nitrogenada. (a) Gráfico de puntos; (b) Grafico de barras.	74
Figura 18. Regresiones lineales del número de hojas verdes o vivas por macollo, según el tiempo transcurrido en días desde el rebrote (a) y según el tiempo térmico (b) , para tratamientos sin fertilización con dos niveles de riego.	75
Figura 19. Regresiones lineales del número de hojas verdes por macollo, según el tiempo en días desde el rebrote (a) y según el tiempo térmico (b) , para tratamientos fertilizados. 76	
Figura 20. Longitud de las diferentes láminas foliares en milímetros, según tratamientos aplicados.	77
Figura 21. Perfil de la longitud de las diferentes láminas foliares en milímetros, según niveles de fertilización (a) y según niveles de riego (b) . Datos a partir de los 60 macollos evaluados.	78
Figura 22. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas) según tratamiento, desde el rebrote primaveral (a) y según la acumulación de sumas térmicas (b)	80
Figura 23. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas), VMF y acumulación de senescencia para tratamientos fertilizados, según días desde el rebrote primaveral (a) y según la acumulación de sumatorias térmicas (b)	81
Figura 24. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas), VMF y acumulación de senescencia para tratamientos no fertilizados, según ddr (a) y TT (b)	82
Figura 25. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas) para los tratamientos ReN0 y RfN0 según diferentes patrones de crecimiento foliar de los macollos vegetativos (V).	84

Figura 26. Modelos de regresión para la relación entre el porcentaje de intercepción de la radiación y el tiempo, según tratamiento.....	86
Figura 27. Modelos de regresión para la relación entre la acumulación de RFAi y el tiempo, según tratamiento.....	90
Figura 28. Modelos de regresión para la relación entre la TRFAi y el tiempo, según tratamiento.....	91
Figura 29. Modelos de regresión para la relación entre IAF y el tiempo, según tratamiento.....	92
Figura 30. Modelos de regresión para la relación entre intercepción de la radiación e IAF según tratamiento: ReN0 (a); RfN0 (b); ReN200 (c); RfN200 (d).....	94
Figura 31. Modelos de regresión para la relación entre IAF y TRFAi (MJ/m ² .día) según tratamiento: ReN0 (a); RfN0 (b); ReN200 (c); RfN200 (d).....	96
Figura 32. Evolución del IC (unidades SPAD) según días desde el rebrote (a) y según la acumulación de sumatorias térmicas (b) por tratamiento.....	101
Figura 33. Evolución del ISN según días desde el rebrote por tratamiento.	103
Figura 34. Modelo gráfico de la síntesis de resultados a partir de esquema de Lemaire y Chapman (1996).....	113
Figura 35. Valores de la relación tallo:hoja en base seca (T/H) por corte según tratamiento.....	123
Figura 36b. Relación entre la intercepción de la radiación y días después del rebrote (ddr) según frecuencia de defoliación. Gráfico de áreas (b).....	125
Figura 37. Modelos de regresión para la relación entre la acumulación de RFAi y el tiempo, según frecuencia de corte. CCC (a); CFT y CVMF (b).....	128
Figura 38. Modelos de regresión para la relación entre la TRFAi (MJ/m ² .día) y el tiempo, según frecuencia de corte.....	129
Figura 39. Modelos de regresión para la relación entre IAF y el tiempo, según las distintas frecuencias de corte.....	130
Figura 40. Modelo de regresión para la relación entre intercepción de la radiación e IAF, sin discriminar por tratamiento.....	131
Figura 41. Esquema de relaciones e interacciones entre variables medidas y la frecuencia de defoliación.....	134

Glosario de Abreviaturas

°C día: unidad de medida de la acumulación de temperatura sobre la T_b a través del tiempo.	LLF longitud de lámina foliar
%IR porcentaje de radiación interceptada	LLFm longitud de lámina foliar del macollo
ABA acumulación de biomasa aérea	N nitrógeno
ABH acumulación de biomasa de hojas	n número de elementos de la muestra
ABt acumulación de biomasa de tallos	N0 0 kg de N/ha
ANOVA análisis de la varianza	N200 200 kg de N/ha
CCC corte ciclo completo	NHT número de hojas totales
CTF corte a tiempo fijo	NHV número de hojas verdes o vivas
CV coeficiente de variación	PB proteína bruta
CVMF corte cada vida media foliar	Re riego eventual
ddr días después del rebrote	Rf riego frecuente
DE desviación estándar	RFA radiación fotosintéticamente activa
EAN eficiencia agronómica del uso del nitrógeno	RFAi radiación fotosintéticamente activa interceptada por la canopia
EE error estándar	Sc senescencia
EUA eficiencia de uso del agua	Scmac senescencia del macollo
EUN eficiencia de uso del nitrógeno	ST suma térmica
EUR eficiencia de uso de la radiación	T/H relación tallo:hoja
EURFAi eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa interceptada	TAH tasa de aparición de hojas
Fc filocrono	Tb temperatura base de crecimiento
FDA fibra detergente ácido	TCC tasa de crecimiento del cultivo
FDN fibra detergente neutro	TE tasa de elongación
H/T relación hoja:tallo	TEF tasa de elongación de foliar
IAF índice de área foliar	TEFm tasa de elongación de foliar del macollo
IAH intervalo de aparición de hojas	TRFAi tasa diaria de captura de la RFAi
IC índice de clorofila	TSc tasa de senescencia
IR intercepción de la radiación	TSc máx. tasa de senescencia máxima
ISN índice de suficiencia de nitrógeno	TT tiempo térmico
	VMF vida media foliar

Evaluación de características morfogénicas y productivas de *Digitaria eriantha* Steud.: Su relación con variables ambientales y frecuencias de defoliación

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Características generales de la región

La región pampeana de la República Argentina se encuentra limitada por las isotermas de 20 °C y de 13 °C al Norte y al Sur del país respectivamente (Garbulsky y Deregibus, 2004). Además, la región se puede dividir según la distribución de las isohietas en clima húmedo (más de 800 mm anuales), subhúmedo (700 a 800 mm anuales) y semiárido (500 a 700 mm anuales) según la clasificación realizada por De Fina y Ravelo (1975), citado por Barbosa (2008).

La región semiárida pampeana se caracteriza por suelos de textura gruesa, bien drenados, que no representan un problema para la exploración radicular, excepto frente a la presencia de capas endurecidas. Las precipitaciones, el contenido de materia orgánica y de nitrógeno, disminuyen desde las regiones húmedas y subhúmedas, hacia las zonas semiáridas. Además, se caracteriza por suelos con problemas de erosión eólica, lo que genera procesos de pérdida de nutrientes. La erosión, sumada a las características de calidad de suelo, y a las precipitaciones, son los factores que limitan la producción agropecuaria de la región (Musto, 1979 citado por Viglizzo et al. (1997)). Cabe destacar que en las últimas décadas los procesos de erosión han disminuido debido a los cambios en la forma de labranza de los suelos (Viglizzo et al., 2011).

Otro cambio importante ocurrido es el aumento de las precipitaciones en las últimas décadas. Para la región semiárida del país Viglizzo et al. (1997) determinaron incrementos en la cantidad de las precipitaciones anuales desde la mitad de la década de 1950. Igualmente, la calidad del suelo en conjunto con la alta variabilidad climática que la caracteriza, no permiten explotar el potencial de dicho aumento (Viglizzo et al., 1997).

La provincia de San Luis se encuentra dentro de la región semiárida templada de la Argentina. La ganadería ha representado la principal forma de explotación agropecuaria de la provincia. Frasinelli et al. (2003) definieron cuatro grandes áreas para la ganadería (**Figura 1**). La región I presenta mayores índices productivos y posee explotaciones de ciclo

completo, invernada y posibilidades para la producción agrícola. En la región II la actividad económica preponderante es la ganadería de cría vacuna extensiva. El principal recurso forrajero es el pastizal natural, combinado con pasto llorón y digitaria. En la región III los sistemas de producción son predominantemente de ganadería de cría extensiva en monte, y la región IV corresponde con pastizales serranos y pequeños valles de aptitud agrícola. Dadas las características de las distintas regiones, cobran importancia para este trabajo, la zona centro-sur de la provincia (regiones I y II), donde se destacan las pasturas perennes megatérmicas para incrementar la producción ganadera.

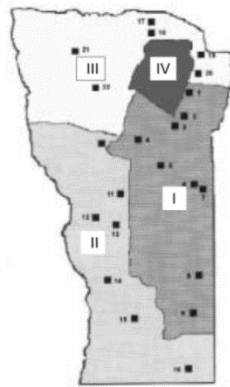


Figura 1. Grandes áreas ganaderas de San Luis (Frasinelli et al., 2003).

La provincia posee un régimen de precipitaciones monzónico, que concentra las lluvias en la época estival con un período invernal seco. Con respecto a las precipitaciones, los valores históricos varían desde 650 mm anuales en el Este, y disminuyen hasta 300 mm/año en el Oeste (período 1921 – 1950) (Peña Zubiato et al., 1998).

Al igual que en el resto de la región semiárida, en San Luis, las precipitaciones anuales aumentaron en las últimas décadas. Diferentes autores han caracterizado el ascenso de las precipitaciones de la provincia, el corrimiento de las isohietas y la variabilidad de las mismas (Bertón y Echeverría, 1999; Echeverría y Giulietti, 2006; Stritzler et al., 2007; Veneciano y Federigi, 2008). En la **Figura 2** se presenta el mapa de la precipitación media anual para el período 1960 – 1999 publicado por Echeverría y Giulietti (2006) que muestra en el límite Este, valores de 700 mm anuales, y hacia el noroeste, de 350 a 400 mm anuales. Según lo informado por Veneciano y Federigi (2008) en los primeros años del siglo XXI (2000 a 2008) respecto al siglo pasado (1903 1999) se aprecia una distribución relativa superior de lluvias estivales (45 vs 41%; 332,1 vs 243,9 mm promedio) y otoñales (15,1 vs 12,5%; 111 vs 74,2 mm promedio), en detrimento de las primaverales (31,8 vs 37,9%, 234,3 vs 225,2 mm promedio), mientras que las de invierno se mantuvieron (8,1 vs 8,6%, 60 vs 51,1 mm promedio).

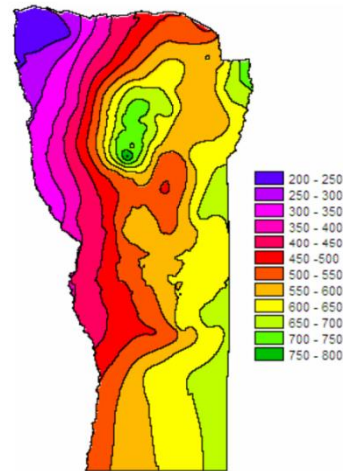


Figura 2. Precipitación media anual para el período 1960 – 1999 (Echeverría y Giulietti, 2006).

En cuanto a otras variables climáticas de importancia, para el centro sur de la provincia, la temperatura media del mes más cálido oscila entre 23,5 y 24,5 °C, mientras que la máxima media del mes más cálido puede alcanzar valores entre 31,5 y 32,5 °C (Echeverría y Giulietti, 2006). La temperatura media del mes más frío se sitúa entre 7,5 y 8,5 °C; la mínima media del mes más frío entre 0,5 y 2,5°C; y la mínima absoluta: entre -15 y -12 °C (**Figura 3**) (Echeverría y Giulietti, 2006).

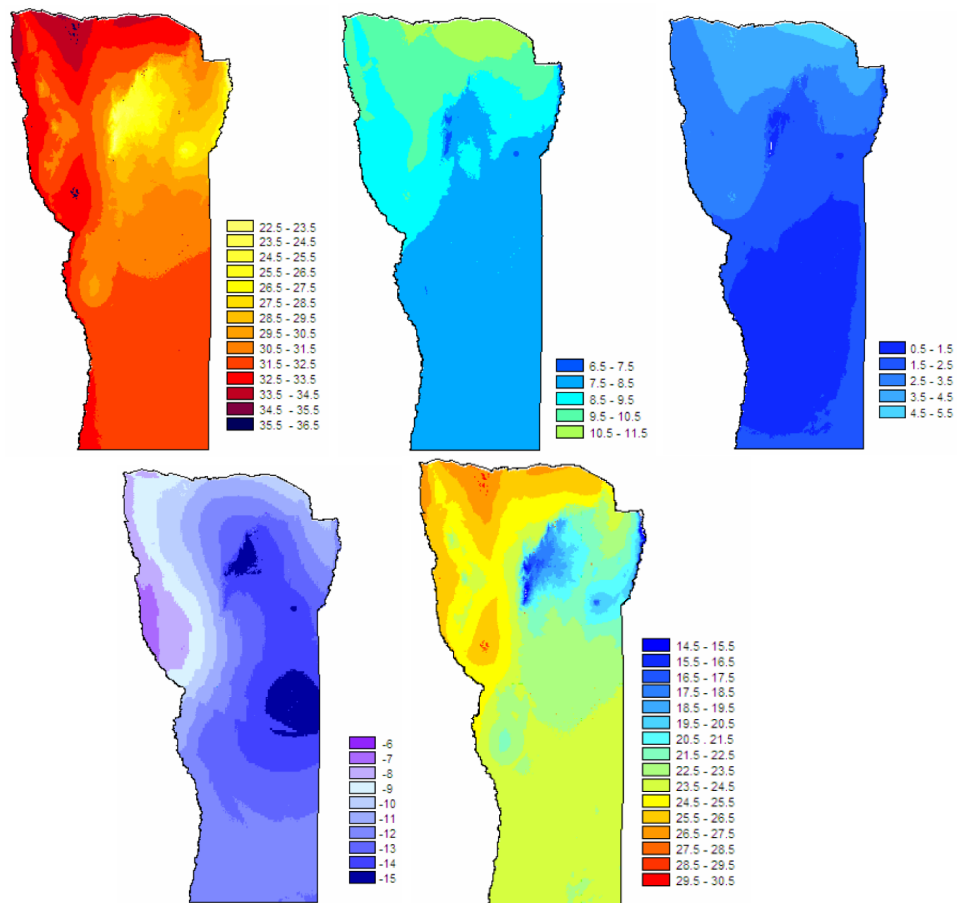


Figura 3. Mapas de temperaturas (°C): media mes más cálido, máxima media mes más cálido, media del mes más frío, mínima media del mes más frío y mínima absoluta, respectivamente (Echeverría y Giulietti, 2006).

En la **Figura 4** se presenta la cartografía de los suelos de la provincia. Los órdenes de suelos presentes son Aridisoles, Molisoles y Entisoles. Los primeros se encuentran presentes en menor proporción en el área noroeste de la provincia. En el noreste encontramos suelos Molisoles en zonas serranas, y la mayor parte del territorio presenta Entisoles, ubicados en la parte central y sur de la provincia, sobre las planicies medanosas del centro sur. Estos últimos presentan características externas de llanura arenosa, en parte loésica, con médanos estabilizados, y presencia de pastizales generalmente, degradados por sobrepastoreo (Panigatti, 2010). Son suelos con altos contenidos de arenas (>70%), relieve normal ondulado, bajo contenido de materia orgánica (1%), excesivamente drenados, con secuencia de horizontes A-AC-C, pobre estructura y susceptibilidad a erosión (Panigatti, 2010).

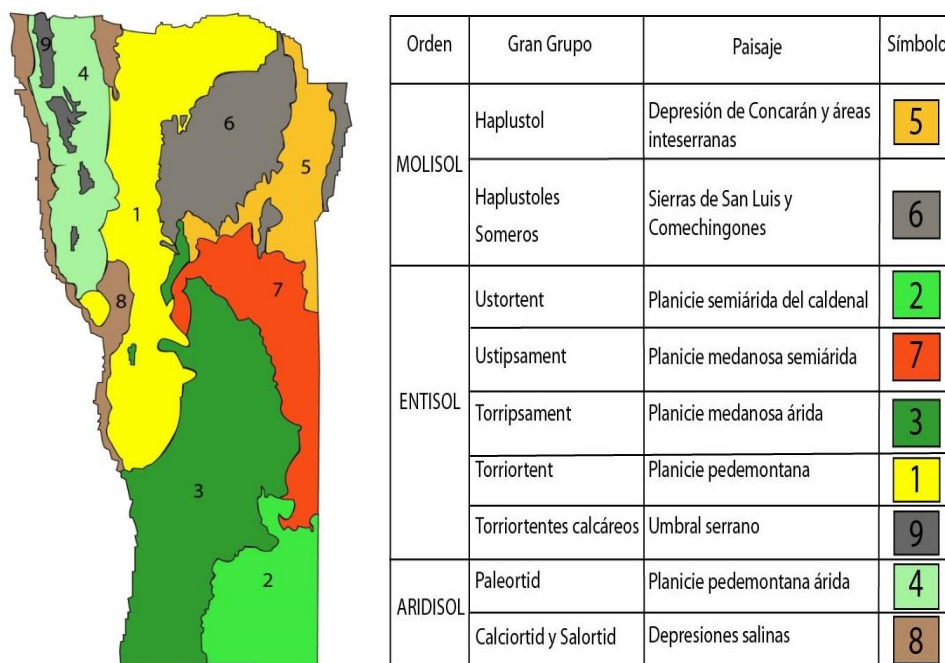


Figura 4. Mapa de suelos de San Luis (Panigatti et al., 2008).

1.1.1. Cambios en la utilización del suelo

Los cambios de uso de suelo producidos en los últimos 50 años, han generado modificaciones de los agrosistemas productivos de la Argentina. En las últimas décadas ha existido un incremento de la actividad agrícola sobre regiones tradicionalmente ganaderas. Viglizzo et al. (2011) muestran que entre 1960 y 2005 los impactos y cambios más importantes ocurridos sobre el territorio argentino, han sido la pérdida de carbono retenido en la biomasa y la destrucción de hábitats naturales causados por la deforestación de bosques,

junto con la disminución del stock de fósforo de los suelos y el incremento de cultivos anuales (alrededor del 60%).

En los últimos 20 años ha existido un claro avance de la agricultura, desde las regiones más aptas hacia zonas con cierto grado de vulnerabilidad, desplazando la producción ganadera a territorios marginales. La economía regional y mundial, en conjunto con el corrimiento de las isohietas, y los avances tecnológicos, han permitido este proceso de modificación en el uso del territorio (Rearte, 2011). Por otro lado, han existido importantes fluctuaciones en stock ganadero nacional, de la mano de las políticas agropecuarias, los cambios de uso mencionados y también, forzadas por episodios climáticos de sequías severas, en coincidencia con procesos de sobrecarga ganadera (Rearte, 2011).

La inadecuada utilización de los recursos naturales generó una degradación de los pastizales y bosques naturales de la provincia de San Luis por sobrepastoreo, que disminuyeron la oferta forrajera. Esto llevó al remplazo parcial de los pastizales por cultivos anuales y por pasturas perennes. Según Demaría et al. (2008) entre 1985 y 2001 en la región de pastizales naturales pampeanos, ubicada en el centro sureste de la provincia, se redujo la superficie desde un 92,6 % hasta un 43,8 %. Los procesos de erosión, de pérdida de fertilidad de los suelos y degradación de pastizales naturales, sumado a las limitantes ambientales que afectan la producción y calidad de las pasturas, generan en algún momento del año, un desequilibrio cualitativo y/o cuantitativo entre la oferta de forraje y los requerimientos de los animales (Privitello, 2004b).

1.2. Marco teórico y antecedentes

1.2.1. Especies forrajeras difundidas en San Luis. Características morfológicas y productivas de digitaria

Una adecuada planificación forrajera permite uniformar la producción y recuperar los pastizales degradados. La introducción de especies forrajeras exóticas tiene un rol destacado en el aumento de la receptividad de los establecimientos agropecuarios permitiendo una utilización racional de los pastizales naturales. En este sentido, primero *Eragrostis curvula* y más tarde, *Digitaria eriantha*, han sido las especies introducidas más difundidas en la región (Privitello, 2004b).

El pasto llorón *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees ingresó en la Argentina a inicios de la década de 1940 con el objetivo de utilizarse para la fijación de médanos. Posteriormente

se observó que era una especie con la potencialidad de convertirse en un recurso forrajero para la producción animal (Fernández et al., 1991). Actualmente es una especie ampliamente adaptada y utilizada en la producción ganadera de la región (Frasinelli y Veneciano, 2014; Frasinelli et al., 2004). Según Frasinelli et al. (1998) pasto llorón alcanza en la región una producción media anual de 3.000 kg MS/ha, y al fertilizarlo con nitrógeno su producción se triplica. La principal dificultad que encuentra esta especie es su restrictiva calidad nutricional invernal (Privitello, 2004b; Stritzler, 2008).

Luego de la llegada de pasto llorón en los sistemas de cría de la provincia, fue el turno de diferentes especies que buscaban optimizar y aumentar la producción ganadera de toda la región semiárida. *Digitaria eriantha* Steud. logró destacarse y su cultivo se expandió por la provincia de San Luis, y junto con otras especies, conforman las cadenas forrajeras en los sistemas ganaderos de la provincia de San Luis.

Digitaria eriantha Steud. es una especie perenne de ciclo estival originaria de África oriental y del Sur. En la Argentina se introdujo a través del INTA en la década de 1980 para evaluar su comportamiento productivo en regiones semiáridas. En San Luis, su mayor difusión comenzó durante la década de 1990 (Veneciano, 2006).

Se adapta a regiones tropicales y subtropicales con regímenes de precipitaciones estivales superiores a los 500 milímetros (Veneciano y Terenti, 1997). En nuestro país se utiliza en los sistemas ganaderos de la zona templada semiárida central (**Figura 5**), una región que podría delimitarse al Este y al Oeste entre las isohietas de 500 a 800 mm, y por la isoterma de 20 °C al norte (Avila et al., 2014).

Se adapta a fríos extremos durante el reposo invernal (-18,2°C a 0,05 m sobre el nivel del suelo en San Luis no han afectado su cultivo) pero durante los rebrotes primaverales tempranos las heladas tardías pueden interrumpir sus primeros crecimientos. *Digitaria* es una pastura que se desarrolla formando matas voluminosas que pueden alcanzar alturas entre 40 a 70 cm de follaje y hasta más de 100 cm considerando sus cañas florales. Sus láminas foliares se presentan con cierto grado de variabilidad tanto en su longitud (20 a 40 cm) como en su ancho (0,5 a 1,5 cm). En la provincia de San Luis, desde mediados hacia fines del mes de diciembre, *digitaria* (Sin defoliación) comienza etapas de intensa acumulación de biomasa durante la floración. Posteriormente, durante el mes de enero, el cariopse alcanza su madurez y comienza la etapa de disseminación (Veneciano, 2006).



Figura 5. Zona de adecuación de digitaria (Avila et al., 2014)

En la región de producción, digitaria se destaca por su adaptación y por presentar una mayor calidad nutricional que pasto llorón durante todo el año (Gargano et al., 2001; Stritzler, 2008; Veneciano, 2006; Veneciano y Terenti, 1996). Nutricionalmente, puede satisfacer los requerimientos proteicos de mantenimiento de una vaca de cría durante todo el año pero no los totales en pleno invierno, y presenta déficit energético durante los períodos de mayor demanda nutricional de los animales en primavera – verano (Privitello et al., 2001). Según Gargano et al. (2001) digitaria presenta una menor duración de ciclo de crecimiento que pasto llorón, y un rendimiento de materia seca inferior. Igualmente tiene una respuesta positiva a la fertilización, tanto en producción como en calidad (Gargano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997).

La producción anual de forraje de digitaria varía para las distintas regiones de la provincia de San Luis, y para diferentes tecnologías de insumos y procesos utilizadas. Frasinelli et al. (2004) informa producciones entre 1200 a 1800 kg MS/ha en el sur-este y sur-oeste con suelos arenosos y bajas precipitaciones, mientras que en zonas aledañas a Villa Mercedes, se reportan valores de forrajimasa entre 3000 y 7000 kg MS/ha según año y frecuencia de defoliación (Veneciano, 2006; Veneciano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997). Gargano et al. (2001) obtuvieron un rango de rendimiento entre 2900 y 4100 kg MS/ha según año, para digitaria en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires (Bahía Blanca) para un estudio de cuatro años. Las producciones más elevadas en San Luis se informan con fertilización nitrogenada con rendimientos entre 6800 a 12500 kg MS/ha según año y frecuencia de defoliación (Veneciano y Terenti, 1997). Privitello et al. (2009) determinaron para la estación estival diferentes producciones de forraje para la especie según niveles de fertilización nitrogenada y riego. La especie tiene un alto potencial productivo y

alcanza valores de biomasa aérea, considerando sólo dicha estación, de 7000 Kg MS/ha cuando se fertiliza con 150 kg N/ha y se mantiene el suelo cercano a capacidad de campo.

Panicum coloratum L cv Klein Verde “Mijo perenne” y *Tetrachne dregei* Nees “Pasto Verde” componen otras especies gramíneas megatérmicas de cierta difusión en la provincia con importante potencial (Veneciano, 2006). *Panicum* es una especie perenne de ciclo estival que mantiene hojas verdes durante el receso invernal, posee un buen potencial productivo para la región, puede ser sometido a 3 defoliaciones durante su crecimiento y la fertilización nitrogenada aumenta la productividad de la especie (Privitello, 2004a). El cultivar Klein Verde de mijo perenne es uno de los más difundidos en la región pampeana semiárida por su resistencia a las heladas y sequías, su fácil implantación y su productividad (Petruzzi et al., 2003). Además, este cultivar muestra un mejor comportamiento frente a la salinidad y manifiesta una mayor acumulación de biomasa que *Panicum coloratum* cv Banbatsi (Taleisnick et al., 1998).

1.2.2. **Ecofisiología, estructura y morfogénesis de las gramíneas forrajeras**

La producción de materia seca de forraje por unidad de superficie, depende de la tasa de crecimiento y la duración del ciclo de cultivo. La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) se define como la acumulación de materia seca por unidad de superficie en relación al tiempo transcurrido. El crecimiento de la pastura produce un aumento de la superficie foliar disponible para interceptar la radiación lumínica que repercute en un incremento de la tasa de crecimiento de la planta. A medida que el área foliar de la planta asciende las diferentes capas de hojas comienzan a superponerse, de modo que la superficie foliar llega a ser mayor que la superficie de suelo. Según Watson (1947), la relación que existe entre el área ocupada por las hojas respecto de la superficie de suelo, se define como índice de área foliar (IAF). De esta forma un IAF igual a 3 significa que la superficie foliar es tres veces superior al área de suelo, o que hay 3 metros cuadrados de área foliar por cada metro cuadrado de suelo. Cuando la planta crece aumenta el IAF y por ende, su capacidad de intercepción lumínica, por lo tanto, se incrementa la tasa fotosintética y la tasa de crecimiento (Colabelli et al., 1998).

Posteriormente, la intercepción de la radiación se acerca al máximo posible con altos valores de IAF y máximas TCC. En ese momento se define al IAF crítico que es aquel que permite una intercepción del 95% de la radiación con TCC máximas (Gardner et al., 1985).

La diferencia entre la radiación solar directa por encima y por debajo de la canopia establece la cantidad de radiación que fue capturada por el cultivo (Collino et al., 2007). La interceptación de la radiación (IR) es la proporción o el porcentaje que puede capturar la canopia de un cultivo, es decir que, es el cociente entre la cantidad de radiación capturada por la planta y la radiación total recibida (Collino et al., 2007).

De la radiación solar incidente, un 48 % corresponde a aquellas longitudes de onda que absorben los pigmentos fotosintéticos (Collino et al., 2007). Esta fracción es la radiación fotosintéticamente activa (RFA). La RFA se calcula corrigiendo la radiación incidente (RI) por el factor 0,48. Del total de RFA, solo la fracción interceptada (IR) se utiliza para la producción de biomasa (Collino et al., 2007).

La temperatura es una de las variables ambientales de influencia en la velocidad de las reacciones bioquímicas en los vegetales y por tanto, resulta de significancia para el crecimiento. Por ello, es posible expresar variables que explican el crecimiento y desarrollo en función de la temperatura. Se denomina tiempo térmico (TT), grados diarios de crecimiento o suma térmica (ST), a la acumulación de temperatura media diaria menos la temperatura base (Tb) a partir de la cual la planta comienza con los proceso de crecimiento.

Distintos investigadores destacan la importancia de los modelos predictivos basados en el uso de tiempo térmico para obtener pautas de manejo que permitan optimizar la utilización de la pastura (Bonhomme, 2000; Ferri et al., 2008; Lemaire y Chapman, 1996; Unruh et al., 1996). Conocer la Tb de crecimiento de la especie es necesario para poder establecer modelos predictivos de crecimiento foliar en relación al tiempo térmico. Algunos autores adjudican a las especies megatérmicas para su crecimiento una temperatura base de 10°C (Sanderson y Moore, 1999; Van Esbroeck et al., 1997). Igualmente, existen diferencias asociadas a las particularidades de cada especie, del ambiente donde se desarrollan, del rango y amplitud de las temperaturas medias en las que se establece el modelo para su medición entre otros (Bonhomme, 2000). Unruh et al. (1996) sugieren que la Tb debe ser determinada experimentalmente para cualquier estudio donde sea necesario trabajar con una temperatura base precisa para lograr modelos que permitan una mejor predicción.

En la utilización del tiempo térmico como predictor del crecimiento (sumatorias de grados días) Bonhomme (2000) establece los fundamentos que se deben considerar en el modelo: linealidad entre las variables (temperatura y el crecimiento), influencia de la temperatura sobre el fenómeno estudiado y ausencia de cualquier otro factor que limite el

desarrollo. Dentro de estos fundamentos, para poder determinar T_b de crecimiento se debe tener en cuenta que exista una relación lineal entre el crecimiento y la T_b , donde influye el rango de temperaturas en las cuales se establece dicha relación. Este autor menciona como un claro ejemplo de esto, la T_b de maíz de 6 a 7°C obtenida y utilizada en Francia, y la de 10°C de EEUU, donde la diferencia se debe a que las temperaturas de cultivo de maíz son en promedio mayores en EEUU. Otro punto importante recae en la amplitud térmica de temperaturas diarias sobre la cual se obtiene la temperatura media diaria, donde aparentemente la T_b decrece con aumentos en la amplitud para una misma temperatura media. Además, según Bonhomme (2000), cuando las temperaturas promedio del aire están por encima del valor de T_b , esta última tiene sólo un ligero efecto sobre la precisión en la determinación de un estado.

Hodgson et al. (1981) establecieron que la producción y pérdida de forraje son procesos simultáneos, producto del crecimiento y senescencia de las plantas, por lo que las pasturas pueden definirse como entidades dinámicas, y por lo tanto, para fundamentar e instaurar pautas de manejo de las especies forrajeras, es necesario conocer el comportamiento de sus caracteres morfogénicos y estructurales. Según Chapman y Lemaire (1993) la morfogénesis se define como el estudio del origen y desarrollo de los diferentes órganos de la planta, y abarca las transformaciones que determinan la formación, expansión y muerte de dichos órganos en el espacio y a lo largo del tiempo. La morfogénesis de las plantas forrajeras puede ser descripta por tres características: aparición de hojas, tasa de elongación foliar (TEF) y vida media foliar (VMF).

La aparición de hojas, se expresa a través del filocrono y de la tasa de aparición de hojas (TAH). El filocrono (F_c) se define como el tiempo térmico (°C día) transcurrido entre la aparición de dos hojas sucesivas (Lemaire y Agnusdei, 2000). Además, el filocrono se puede expresar en tiempo cronológico (días), y se lo denomina como intervalo de aparición de hojas (IAH). La velocidad con la que se producen nuevas hojas por unidad de tiempo, está definida por la TAH, y es la inversa del filocrono ($1/F_c$) (Lemaire y Agnusdei, 2000).

La tasa de elongación foliar (TEF) se puede definir como el incremento en longitud de lámina verde en un intervalo de tiempo cronológico (días) o térmico (°C día) (Lemaire y Agnusdei, 2000).

La vida media foliar (VMF) es el intervalo entre la aparición de una hoja y el inicio de su senescencia. Puede ser expresada en días o en °C día, siendo más adecuado esto último,

dada la alta relación de las variables morfológicas con la temperatura. También se puede expresar como número de IAH (Lemaire y Agnusdei, 2000).

Los caracteres morfológicos definen los cambios estructurales que ocurren durante el desarrollo de los macollos: tamaño foliar, densidad de macollos y número de hojas por macollo. Los macollos aumentan su número de hojas desde el rebrote hasta llegar a un máximo. A partir de allí la aparición de una nueva hoja va acompañada del inicio de la senescencia de la hoja más antigua. El número máximo de hojas vivas o verdes (NHV) por macollo es una constante genotípica relativamente independiente de la temperatura (Davies, 1988). En la **Figura 6** se establecen las relaciones existentes entre las variables morfológicas, estructurales, IAF y el crecimiento. La velocidad con la que crecen los tejidos de la hoja (TEF) junto con el tiempo en que aparecen dichas hojas (IAH, Fc, TAH), influyen sobre el tamaño foliar del macollo. A partir de las yemas axilares de las hojas que se encuentran en el fitómero pueden desarrollarse nuevos macollos, por lo tanto la TAH repercute sobre la densidad de macollos. El número de hojas vivas por macollo se define por la velocidad con la que aparecen las hojas (TAH) y el tiempo que estas se mantienen verdes (VMF). Las variables estructurales determinan el IAF de la planta y afectan la capacidad de interceptación de la radiación y la producción de carbohidratos para el crecimiento de la planta (Colabelli et al., 1998).

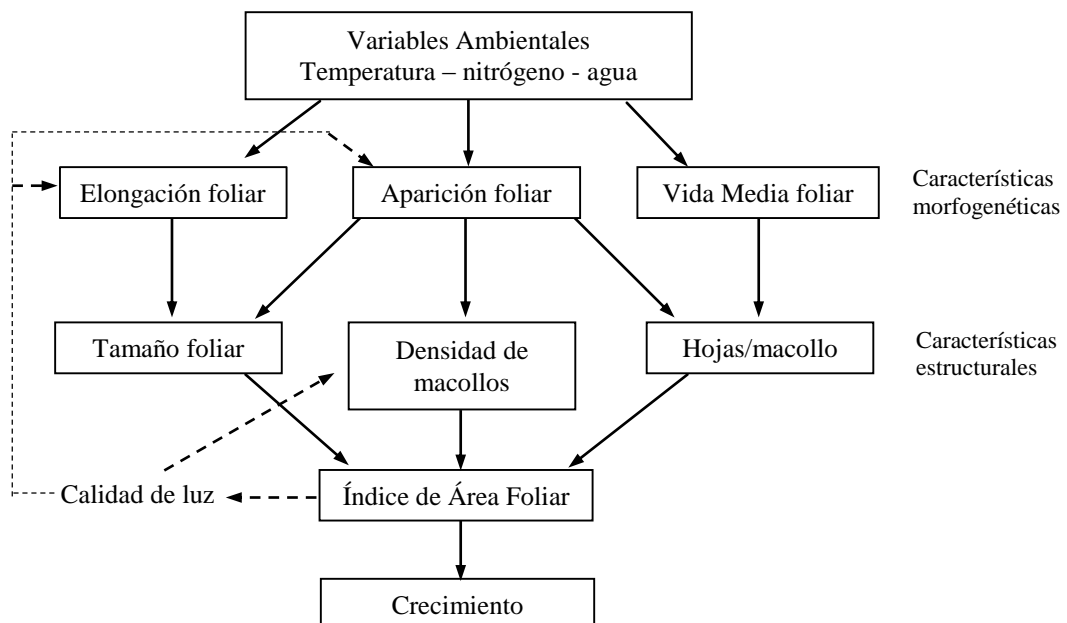


Figura 6. Relaciones entre características morfológicas de las plantas y variables estructurales de las pasturas (Adaptado de Lemaire y Chapman, 1996).

El crecimiento vegetativo de las especies gramíneas se origina por la expansión y elongación foliar, y/o por la aparición de nuevos individuos que se generan a través del macollaje (Anslow, 1966).

Las plantas muestran sincronismo entre la aparición de una hoja nueva y el comienzo de la senescencia de la hoja más vieja, lo cual explica que la velocidad de producción de órganos foliares esté en relación directa con el crecimiento neto de la cubierta vegetal. El crecimiento y desarrollo foliar (morfogénesis) constituyen características íntimamente relacionadas con la adaptación de las plantas a la defoliación. Por un lado determinan la regeneración del área foliar, que en sí constituye la vía más rápida para recuperar la capacidad para sintetizar asimilados. Por otro, definen la cantidad de yemas que potencialmente pueden desarrollar macollos (Anslow, 1966).

La morfogénesis posee control genético y ambiental. Los factores del medio ambiente que mayor incidencia tienen son: la temperatura, la luz (intensidad y composición espectral), la disponibilidad de agua y de nutrientes. Siendo la temperatura el principal factor climático que determina el desarrollo foliar, la dinámica de producción y pérdida de forraje de las pasturas según Anslow (1966). El conocimiento de la morfogénesis y la estructura de la especie expresados tanto en días como en tiempo térmico son importantes para establecer pautas de manejo que permitan optimizar la utilización de la pastura. Es por eso que conocer la temperatura base de crecimiento de la especie es necesario para poder establecer modelos predictivos en relación al tiempo térmico.

El crecimiento de la pastura se encuentra limitado por los recursos ambientales disponibles (temperatura, agua, nutrientes, luz). Por lo tanto, con la utilización de tecnologías de insumos se puede lograr incrementos en la producción de MS y aumentar la eficiencia con la que se utilizan los recursos disponibles. Privitello et al. (2009) encontraron diferencias en la eficiencia de utilización de los recursos (EUR, EUA y EUN), en el IAF máximo alcanzado y en la intercepción de la radiación para digitaria sometida a distintos niveles hídricos y de fertilización nitrogenada.

1.2.3. **Calidad nutricional del forraje**

La calidad nutricional ofrecida por la pastura se modifica a través del tiempo con los cambios fenológicos que caracterizan a las gramíneas. Durante instancias tempranas, las plantas presentan mayor concentración proteica y menos fibra. Al avanzar la temporada de crecimiento, las gramíneas comienzan la senescencia de sus primeras hojas cuando alcanzan

la vida media foliar. El aumento de material senescente, implica un mayor contenido de pared celular en los tejidos, que se ven reflejados en mayores valores de fibra y disminuciones de proteína y digestibilidad del forraje. La llegada de las etapas de elongación y floración, acentúan este proceso por la aparición de los tallos (estructuras fibrosas). La defoliación interrumpe este proceso y permite mantener la calidad de los posteriores rebrotes. Cuando el pastoreo ocurre de manera temprana, se desaprovecha el potencial productivo de la pastura, mientras que un pastoreo tardío implica una oferta de forraje de menor calidad (Bandera et al., 2013).

La fibra aportada por la pared celular de las plantas forrajeras, es necesaria para un funcionamiento normal del rumen, y es el alimento de muchos de los microorganismos que habitan en él. Se pueden distinguir distintas fracciones de fibra que corresponden a fibra bruta (FB), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). La FDN refleja la concentración de la pared celular y es la fracción que mejor representa la capacidad para ocupar volumen por parte del forraje en el tracto digestivo y por lo tanto, se relaciona negativamente con la capacidad de consumo de MS. En cambio, FDA se correlaciona negativamente con la digestibilidad del forraje (Buxton, 1996).

Existen diferencias en el contenido de fibra y pared celular según la edad de las hojas, y cuando se comparan estas con el tallo. Además, el contenido de proteína bruta (PB) es mayor en las láminas foliares, y puede duplicar la de los tallos. A medida que avanza la edad de la planta, la proporción de tallos va en aumento conjuntamente con la senescencia de las hojas, esto genera aumentos en los contenidos de fibra y por ende, disminuciones en la digestibilidad del forraje, en la concentración de la proteína bruta y en el consumo de MS por parte de los animales. La relación proporcional entre tallos y hojas presentes en un momento dado, representa esta situación y es un indicador de la calidad nutricional de la pastura. Ramírez Reynoso et al. (2009) encontraron para *Panicum maximum* cultivado en Guerrero, México, con clima cálido subhúmedo, que la relación hoja:tallo es mayor en épocas de sequía comparado con períodos de lluvia, principalmente debido a que en situaciones de estrés hídrico el crecimiento y el desarrollo se ven comprometidos. Además, concluyeron que la acumulación de forraje, composición morfológica y estructura de esta especie pueden ser manipuladas a través de la frecuencia de corte, y establecieron que un intervalo de defoliación de tres semanas es el más adecuado para mantener valores aceptables de dichas variables. Intervalos más amplios entre cortes implican una menor relación hoja:tallo con mayor acumulación de forraje. Chacón-Hernández y Vargas-

Rodríguez (2009) estudiaron cómo la edad en la que se cosecha el forraje afectó la calidad de *Pennisetum purpureum* en un ensayo realizado en Costa Rica. Estos autores determinaron que al disminuir el intervalo entre cortes aumenta la proporción de hojas presentes (mayor relación hoja:tallo) y por lo tanto aumenta la calidad del forraje.

La calidad y productividad de las pasturas perennes megatérmicas en general (expresadas en rendimientos de MS y PB/unidad de superficie) y de digitaria en particular, pueden aumentarse utilizando la fertilización nitrogenada como herramienta de manejo. Las gramíneas presentan una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada (Gargano et al., 2006). Digitaria puede duplicar la productividad de materia seca por año en la región, dependiendo de las precipitaciones ocurridas (Gargano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997). En diferentes estudios realizados en el semiárido Argentino, se observaron pequeños incrementos significativos en el contenido de nitrógeno (o de PB), cuando se realizan fertilizaciones nitrogenadas en digitaria (Gargano et al., 2004; Gargano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997).

La concentración de nitrógeno en los tejidos vegetales se relaciona con el nitrógeno absorbido y la producción de materia seca. La absorción de nitrógeno es variable para diferentes ambientes (años, sitios, cultivos) y depende de la disponibilidad del nutriente en el suelo y de las condiciones ambientales que definen la tasa de crecimiento del cultivo (Gastal y Lemaire, 2002).

El índice de verdor o de clorofila (IC), refleja el contenido de clorofila de los tejidos vegetales. El clorofilómetro determina la cantidad relativa de clorofila presente a través de la medición de la absorbancia de la hoja en dos regiones de longitud de onda, en el azul (400-500 nm) y rojo (600-700 nm), que corresponden con el tipo de radiación absorbida por los pigmentos clorofílicos. Con estas dos absorbancias, el medidor SPAD calculará un valor numérico que es proporcional a la cantidad de la clorofila en la hoja (Spectrum Technologies, 2011).

Las lecturas del IC constituyen una herramienta adicional en la evaluación del estado nutricional del forraje, del rendimiento y del manejo de la fertilización (Lavres jr et al., 2010). Varios autores han encontrado altas correlaciones positivas entre el índice de clorofila y la concentración de nitrógeno en las plantas de diferentes especies (Costa et al., 2015; Castillo y Ligarreto, 2010; Gandrup et al., 2004; Loewy y Ron, 2008; Mendoza et al., 1998; Novoa y Villagrán, 2002; Wolfe et al., 1988). Cuando se realizan mediciones del índice en

plantas que han recibido aportes diferenciales de nitrógeno (no fertilizadas, comparadas con fertilizadas bajo crecimiento sin restricciones), se pueden establecer valores umbrales que ayudan a realizar un diagnóstico de la salud nutricional del cultivo, y permiten tomar decisiones sobre la necesidad de fertilización (Gandrup et al., 2004; Loewy y Ron, 2008; Novoa y Villagrán, 2002).

Kantety et al. (1996) investigaron la relación del contenido de nitrógeno con el rendimiento y los valores de IC para *Festuca arundinacea* (“festuca alta”) y concluyeron que las mediciones de IC son un método sencillo y eficiente para detectar el nivel de nitrógeno foliar. Gáborčík (2003) también encontró correlaciones positivas entre IC y el contenido foliar de nitrógeno para diferentes especies y cultivares de pasturas de clima templado (híbridos de *Festuca pratensis* Huds. × *Lolium multiflorum* Lam. y *Festuca arundinacea* Schreb. × *Lolium multiflorum* Lam.) y concluye que las mediciones de SPAD podrían usarse para procesos de selección de forrajes con una mayor concentración de nitrógeno foliar. Madakadze et al (1999) determinaron que el IC puede utilizarse para predecir concentraciones de nitrógeno en *Panicum virgatum* L.

El índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) se calcula como el cociente matemático entre el IC de una parcela o planta a caracterizar, y el IC de situaciones sin limitaciones de nitrógeno. Según Peterson et al. (1993) el ISN puede utilizarse como herramienta para establecer necesidades de fertilización nitrogenada, y establecen que índices menores al 0,95 implican reducciones en el rendimiento por deficiencia de nitrógeno. Al mismo tiempo, ISN más bajos indican menores tenores de N y PB en planta entre las dos situaciones.

Por lo tanto, aunque IC e ISN no establece directamente los valores de nitrógeno y proteína bruta (PB) en las hojas, permite contrastar diferentes situaciones entre cultivos con mayor y menor concentración de proteína (nitrógeno), lo que convierte a estos índices en indicadores indirectos de la calidad relativa de una pastura.

1.2.4. **Defoliación de la pastura**

Las características morfológicas de cada planta afectan la estructura y funcionamiento de la pastura, a través de diferentes interacciones entre los individuos, y con otras especies que puedan presentarse oportunamente. Cambios en la arquitectura por defoliación, afectan las relaciones entre individuos y especies que puedan estar presentes (Nabinger y de Faccio Carvalho, 2009).

Durante el pastoreo, se establece una relación entre la planta y el animal, donde el manejo (carga animal, frecuencia e intensidad de pastoreo, tiempos de uso y descanso), condiciona las respuestas e interacciones entre estos dos participantes. La defoliación modifica la estructura, disminuye el IAF y por lo tanto, baja la captación de radiación disponible para fotosíntesis. Cuando la intensidad es muy severa, afecta las reservas de los macollos dificultando el rebrote, y la capacidad de competencia con otras plantas (Nabinger y de Faccio Carvalho, 2009). Además, la plasticidad fenotípica de cada especie, hace que cuando la pastura es defoliada se modifica la calidad de la luz que llega a la base de los macollos, y se produce como respuesta un aumento en la tasa de macollaje lo que permite cierto grado de compensación del área foliar sacrificada por el pastoreo (biomasa por mayor número de macollos). Esto tiene un efecto directo aumentando la densidad de macollos, y frente a altas presiones de pastoreo (altas frecuencias y/o intensidades de defoliación) este mecanismo de compensación lleva con el tiempo a una estructura horizontal de la pastura con gran cantidad de individuos y reducciones en la productividad forrajera (Matthew et al., 2000; Matthew et al., 1996). Mientras más severas y frecuentes son las defoliaciones sobre una pastura gramínea en estado vegetativo, más se reduce la productividad forrajera y mayor impacto tiene sobre la estructura horizontal (Colabelli et al., 1998).

Por otro lado, bajas frecuencias e intensidades de pastoreo con prolongados períodos de descanso llevan a una mayor captación de la radiación permitiendo un desarrollo importante del área foliar (IAF) pero al mismo tiempo, permiten la acumulación de material lignificado (varas florales) mientras que la ontogenia de las hojas avanza con la consiguiente pérdida de calidad. Una utilización eficiente de la pastura implica cosechar el forraje producido justo antes de que comience la senescencia, de tal manera que se le permita a la planta alcanzar su máxima tasa de crecimiento y acumulación, optimizando la intercepción de la radiación, a la vez que se pueda impedir la acumulación de material senescente. El equilibrio teórico óptimo se lograría al cosechar cada hoja individual, justo antes de iniciar la senescencia, es decir, en el momento previo a la ocurrencia de vida media foliar (Parsons et al., 1988). Por eso, resulta importante determinar las variables morfogénicas para diferentes especies forrajeras, en la búsqueda de encontrar una intensidad y frecuencia de defoliación apropiada, que permita un equilibrio entre el crecimiento del forraje y la utilización del mismo (Lemaire et al., 2009).

Por otro lado, la forma en que el animal realiza el pastoreo, depende de la estructura de la pastura. Cuando la disponibilidad de forraje es alta, este presenta un volumen ofrecido

que permite al animal un comportamiento de pastoreo con bocados más grandes, menor velocidad (tasa de bocado), y menor tiempo de pastoreo diario. Por el contrario, cuando una pastura es defoliada frecuente y/o intensamente, presenta una baja estructura que incide sobre la cosecha de forraje. En estas circunstancias, los animales pastorean a un ritmo acelerado aumentando el intervalo de tiempo entre dos bocados sucesivos, disminuyen el tamaño de bocado e incrementan el período de cosecha. Este comportamiento por parte de los animales permite compensar la cantidad de forraje cosechado, dentro de ciertos límites. Cuando la oferta se torna limitante impide un tamaño adecuado de bocado, la mayor tasa y tiempo de pastoreo, no permiten un mecanismo de compensación suficiente para alcanzar el mismo nivel de consumo de forraje (Nabinger y de Faccio Carvalho, 2009). En la **Figura 7**, Nabinger y de Faccio Carvalho (2009) establecen las relaciones mencionadas entre las variables descritas.

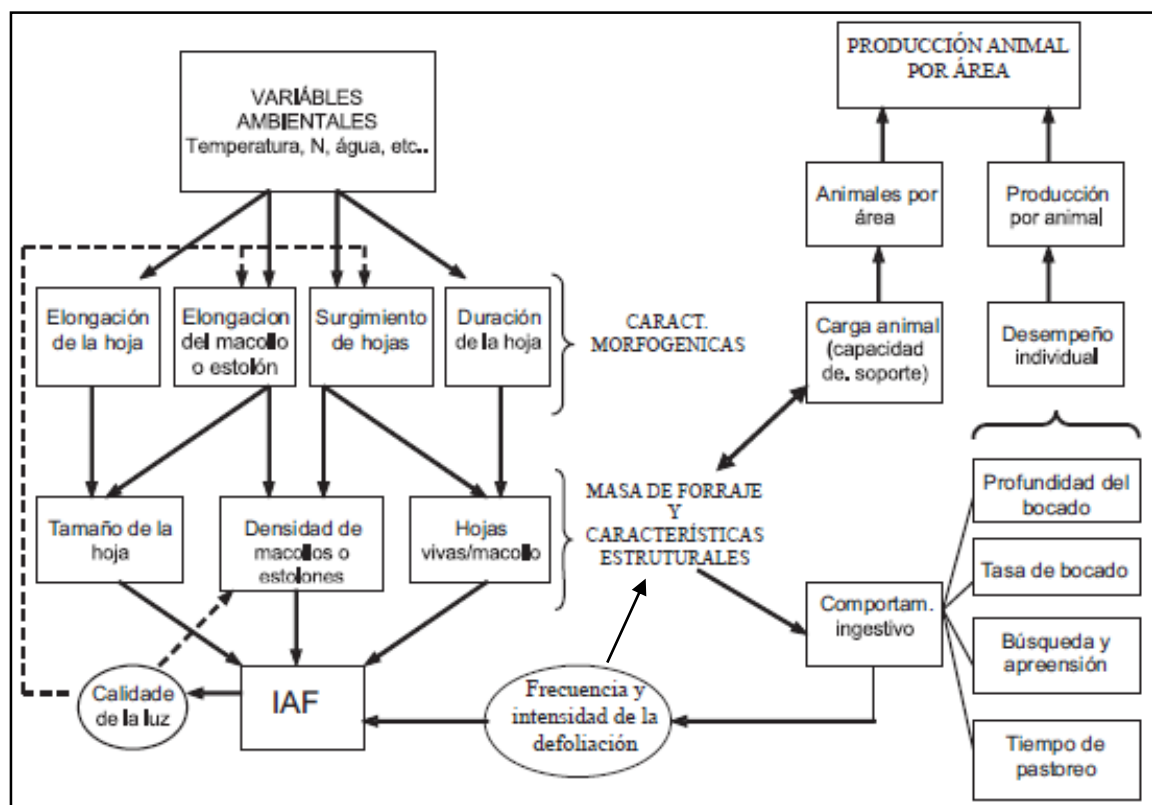


Figura 7. Modelo conceptual de las relaciones suelo-clima-planta-animal

Digitaria manifiesta un porte rastrero y cespitoso bajo altas presiones de pastoreo con reducciones en la producción de biomasa (Veneciano, 2006). Bajas frecuencias de pastoreo permiten acumular mayor cantidad de biomasa pero se reduce la producción en cortes posteriores y además, ocurren pérdidas de calidad. Frecuencias de defoliación entre 35 y 45 días han sido propuestas para la provincia de San Luis, teniendo en cuenta la producción y

calidad de la especie (Veneciano, 2006; Veneciano y Terenti, 1997). Por otro lado, al estudiar la defoliación durante un ciclo, se encontró que cortes realizados teniendo en cuenta la VMF (613°C día y 56 días) permiten mayor captación de radiación e IAF comparado con frecuencias más altas (Rossi et al., 2015b).

1.2.5. Estudios actuales de morfogénesis en pasturas poáceas

Estudiar y conocer las características morfogénéticas y estructurales de las especies forrajeras es uno de los primeros eslabones fundamentales del conocimiento para poder entender el comportamiento productivo y cualitativo de las especies, y a la vez, a partir de este, lograr un manejo eficiente para cada situación y sistema productivo. Es por eso que los estudios morfogénéticos y estructurales de las pasturas permiten identificar especies/cultivares con potenciales productivos discordantes o similares, y posibilitan la agrupación de aquellas con similares respuestas de crecimiento a la defoliación y por lo tanto, con similares requerimientos de manejo (Silveira et al., 2010). Ramírez Reynoso et al. (2010) estudiaron la morfogénesis de *Panicum máximum* cv Mombaza (pasto mombaza) y determinaron una recomendación óptima para el descanso entre pastoreos dependiendo de la estación de crecimiento, teniendo en cuenta las diferencias en la morfogénesis entre estación húmeda y seca. Paciullo et al. (2003) encontraron modificaciones en las tasas de aparición de hojas y en la tasa de elongación de los macollos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), para diferentes condiciones ambientales en el sureste de Brasil (Minas Gerais), al evaluar las características morfogénéticas y estructurales de la especie en distintos momentos del año. Además, determinaron que las mayores TAH y TE ocurren en correspondencia con altos niveles de producción de biomasa y altas tasas de producción foliar, hacia finales del verano.

Para establecer pautas y estrategias de manejo adecuadas en base a las características morfogénéticas de las especies, es necesario conocer la repuesta de las variables a diferentes situaciones de estrés, comunes en la región de estudio. En la región semiárida de San Luis, uno de los factores de mayor relevancia que afecta el crecimiento de las especies vegetales es el déficit hídrico (Panigatti, 2010). Al estudiar el filocrono y la tasa de aparición de hojas de *Panicum coloratum* L. cv Verde, Ferri et al. (2008) encontraron respuestas diferentes en tres años sucesivos y condiciones ambientales distintas. Estos autores adjudican que las inconsistencias encontradas entre años, podrían deberse a la acción de variables ambientales no consideradas en el estudio (humedad del suelo y estrés hídrico). Privitello et al. (2012),

también encontraron valores distintos para variables morfogénicas de especies megatérmicas durante diferentes épocas (rebrotos primaverales y estivales).

Las características edáficas afectan la expresión de variables morfogénicas y estructurales. Da Silva et al. (2012) hallaron diferencias para variables morfogénicas y estructurales de *Brachiaria decumbens* frente a aportes diferenciales de nitrógeno, que resultaron en menores valores para filocrono y número de hojas totales por macollo, y mayores para el número de hojas vivas por macollo, tasa de elongación foliar y longitud foliar final al fertilizar con nitrógeno. Costa et al. (2013) encontraron resultados similares para *Axonopus aureus* con mayor TAH, número de hojas vivas por macollo, tasa de elongación foliar y longitud foliar final con fertilización. Diversos autores informan resultados similares con cambios en las variables estructurales y morfogénicas por efecto de modificaciones en el ambiente (año, época, fertilización y precipitaciones entre otros) (Garcez Neto et al. (2002) en *Panicum maximum* cv. Mombaça; Gomes et al. (2012) en *Brachiaria ruziziensis*; Oliveira et al. (2007) en *Panicum maximum* cv. Tanzania; Pereira et al. (2011) en *Panicum maximum* cv mombaça; Quadros y Bandinelli (2005) en *Lolium multiflorum* y *Paspalum urvillei*; Carvalho Santos et al. (2009) en *Brachiaria brizantha* cv Marandu). Para *P. coloratum* y *T. dregei* en San Luis también se detectaron diferentes valores en las variables morfogénicas y estructurales para mediciones realizadas en distintos años (Lucero, 2015; Lucero et al., 2015; Privitello et al., 2012).

En San Luis, los estudios de morfogénesis en forrajeras resultan escasos. Lo cual conduce a utilizar similares estrategias de defoliación en especies con crecimiento y desarrollo foliar diferentes. Esto afecta la oferta de forraje en especies con menor ritmo de aparición de hojas cuando se la somete a defoliaciones frecuentes, sugeridas originalmente para otras con mayor velocidad de recambio foliar. Experiencias recientes sugieren velocidades de recambio foliar diferentes entre especies megatérmicas, por lo que las frecuencias de defoliación deberían ser mayores para *Eragrostis curvula*, intermedias para *Digitaria eriantha* y menores para *Panicum coloratum* (Privitello et al., 2012).

1.3. Fundamentación, beneficiarios y brecha del conocimiento

El estudio de las relaciones básicas de crecimiento de las especies forrajeras es una herramienta que permite desarrollar estrategias de manejo de pasturas. Es por eso, que determinar y caracterizar las variables morfogénicas y estructurales de las especies forrajeras de importancia regional y entender su comportamiento frente a diferentes

situaciones hídricas, es para el beneficio, primero, de los investigadores que desarrollan las tecnologías de procesos para determinar las pautas que mejor se adecúan al manejo de la pastura en el ambiente en estudio, permitiendo diferenciar estrategias de manejo entre especies y para distintas situaciones ambientales. En segundo lugar, serán beneficiarios los asesores y técnicos que necesiten dicho conocimiento para utilizarlo como una tecnología de proceso necesaria para mejorar la situación productiva de los sistemas ganaderos que sean objeto de su trabajo.

Por último, los beneficiarios serán los productores ganaderos que utilicen el conocimiento desarrollado para un manejo eficiente del recurso pastoril, generando un beneficio en la producción pecuaria, y por ende en la sociedad en su conjunto. En este último caso, se puede decir que la situación problemática se refleja en la falta de productividad de forraje, causada por el cambio de estructura que ocurre en la pastura por efecto de una utilización inadecuada. El sobrepastoreo desarrolla una estructura cespitosa con una mayor densidad de plantas y una menor producción anual de forraje. Además, cuando el sobrepastoreo se extiende hacia el otoño, se afecta negativamente la acumulación de reservas, lo que repercute en el rebrote primaveral de la siguiente temporada de crecimiento debilitando la pastura a través de los años. La brecha de conocimiento descrita representa uno de los factores que afectan el buen desempeño productivo de las pasturas.

2. CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

- Comparar temperaturas y lluvias mensuales del ciclo de producción con períodos históricos (1932 – 1999) y de años más recientes (2000 – 2008).
- Estimar la temperatura base de crecimiento de digitaria.
- Evaluar el comportamiento morfogénico – estructural, productivo, fenológico, índice de clorofila y la captura de radiación de *Digitaria eriantha* Steud. cv Irene con y sin restricciones nutricionales e hídricas.
- Comparar la relación hoja:tallo, el comportamiento productivo, densidad de macollos y captura de la radiación de digitaria en parcelas sometidas a frecuencias de defoliación que contemplen o no las características morfogénicas y estructurales de la especie.
- Evaluar la eficiencia de utilización de recursos ambientales como radiación, nitrógeno y agua en macetas y/o parcelas.

2.2. Objetivos específicos

En macetas:

Fenología, morfogénesis y estructura:

- Estimar la temperatura base de crecimiento de digitaria en Villa Mercedes -San Luis- a partir de un modelo de regresión entre el número de hojas y la temperatura media diaria.
- Describir y comparar la ocurrencia de las diferentes etapas fenológicas en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.
- Describir y comparar los procesos de génesis, expansión y muerte de las hojas, y los cambios estructurales a nivel de macollo frente a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.
- Relacionar variables morfogénicas y estructurales con la acumulación térmica.

Captura de la radiación:

- Estudiar la evolución de la intercepción de la radiación (IR) y cambios del índice de área foliar (IAF) en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

- Determinar los máximos niveles de intercepción, la tasa de captura y la acumulación de radiación total en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

- Estudiar el desarrollo del IAF durante el ciclo, establecer su relación con la tasa de captura de radiación y con IR en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

Determinar los valores de IAF máximo y crítico en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

IC e ISN:

- Estudiar cambios en el índice de clorofila y en el índice de suficiencia de nitrógeno a través del tiempo y sus valores máximos para establecer diferencias en la calidad nutricional de plantas (contenido de nitrógeno) sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno

- Establecer diferencias de calidad nutricional en hojas de diferente ontogenia (edad) para distintos momentos del ciclo a través del índice de clorofila en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

Biomasa:

- Establecer diferencias en la acumulación de biomasa total y de tallos para plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

Uso de los recursos:

- Calcular y comparar la eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa (EURFA), la eficiencia agronómica de la utilización del nitrógeno aplicado (EAN) y del uso del agua (EUA), en plantas sometidas a aportes diferenciales de agua y nitrógeno.

En parcelas:

Producción de biomasa, calidad y densidad:

- Determinar y comparar la acumulación de materia seca, la relación T/H y la densidad de macollos en parcelas de digitaria sometidas a distintas frecuencias de defoliación.

Captura de Radiación:

- Establecer la evolución de intercepción de la radiación (IR) y los máximos alcanzados para diferentes frecuencias de defoliación.

-Determinar la acumulación de radiación total y la tasa diaria de captura en parcelas de digitaria sometida a diferentes frecuencias de defoliación.

-Determinar cambios en el índice de área foliar (IAF) y máximos valores durante el ciclo de crecimiento para diferentes frecuencias de defoliación.

- Realizar un modelo de predicción que permita establecer el valor de IAF crítico para *Digitaria eriantha* durante un ciclo de crecimiento.

Uso de los recursos:

- Calcular y evaluar la eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa (EURFA) y del agua (EUA) para diferentes frecuencias de defoliación.

Integración:

- Integrar la información derivada de las parcelas con la de macetas según las variables comunes determinadas en cada caso.

2.3.Hipótesis

H1: Condiciones diferenciales de humedad y de nitrógeno edáfico alteran la expresión de las variables morfogénicas y estructurales de digitaria. Sin restricción de agua y nitrógeno la especie acelera su ritmo de crecimiento.

H2: Condiciones desfavorables de humedad y/o nitrógeno edáfico retrasan la fenología de la planta al disminuir la velocidad de desarrollo foliar.

H3: Situaciones sin restricción hídrica y de nitrógeno edáfico permiten incrementar la captura de la radiación con mayores niveles de intercepción y radiación capturada, a la vez que posibilitan mayor desarrollo de la canopia (IAF) y producción de biomasa.

H4: Una eficiente utilización de recursos ambientales como radiación, agua y nitrógeno, incide favorablemente en la biomasa aérea acumulada por planta y guarda relación con la interacción de dichos factores.

H5: El aumento en el nivel de un recurso limitante necesario para el crecimiento permite una mejor utilización de otros recursos ambientales no restrictivos.

H6: Estrategias de manejo de *Digitaria eriantha* con defoliaciones que consideren la morfogénesis de la especie, permiten un sincronismo entre producción y calidad de la

pastura, y brindan mayor producción de MS de calidad que en situaciones de aumento de la frecuencia de uso.

H7: Frecuencias de defoliación que tengan en cuenta la morfogénesis de la especie logran mejorar la intercepción, aumentan la captura de radiación y desarrollan mayor IAF comparado con altas frecuencias de defoliación.

H8: *Digitaria eriantha* mejora la eficiencia de utilización de los recursos (radiación y agua) cuando se realizan frecuencias de defoliación ajustadas a la morfogénesis.

2.4. Contribución a la ciencia

La brecha del conocimiento que se intenta abordar con esta tesis, es el desconocimiento de variables morfogénicas y estructurales de *Digitaria eriantha* Steud., en el ambiente de la provincia de San Luis, y su respuesta a diferentes escenarios hídricos y nutricionales. Como así también, evaluar la producción de forraje frente a defoliaciones que tienen en cuenta la morfogénesis.

Conocer el comportamiento morfogénico de las especies forrajeras cultivadas de mayor difusión en la región, y determinar su respuesta a factores ambientales, representa la información básica necesaria para plantear un pastoreo racional que permita una utilización eficiente del forraje. Algunos autores destacan la importancia de esto:

“El uso eficiente del forraje es un equilibrio entre la optimización de la intercepción de luz por parte de las hojas y la cosecha de forraje antes de la senescencia”

(Parsons et al., 1988)

“La determinación de la vida media foliar de cada especie forrajera es de gran importancia para poder controlar el momento de la defoliación y poder optimizar el equilibrio entre la producción de forraje y la eficiencia de la utilización de forraje”

(Lemaire et al., 2009)

El esclarecimiento del comportamiento eco-morfofisiológico de la especie en cuestión, contribuye al aporte de tecnologías de proceso (a costo cero) para los sistemas ganaderos de la región semiárida al promover un uso racional de los recursos forrajeros y ambientales.

3. CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis, sede ubicada en la localidad de Villa Mercedes (Latitud: - 33° 38'30" S Longitud: - 65° 26'48" O).

Los suelos de esta zona pertenecen a la serie Villa Mercedes. El material originario corresponde arenas eólicas. Los mismos se describen con un perfil poco desarrollado típicamente: A – AC – C de textura limosa gruesa susceptible a la erosión eólica. Presentan contenidos de materia orgánica alrededor del 1,5% en los primeros 25 cm de profundidad. Están clasificados como Haplustoles énticos de acuerdo a la denominación de Soil Taxonomy (Peña Zubiarte et al., 2000).

Para cumplir con los objetivos de esta tesis se plantearon 2 ensayos diferentes. La finalidad del Ensayo 1 fue la de estudiar el comportamiento morfogénico y estructural de plantas de digitaria sometidas a diferentes cantidades de nitrógeno edáfico y a distintos niveles de humedad. Como complemento a esto, en el ensayo 2 se estudió la respuesta productiva a nivel de parcela de diferentes frecuencias de defoliación, considerando o no la morfogénesis de la especie.

3.1. Ensayo 1: Plantas de *Digitaria eriantha* Steud. cv Irene en macetas

En este ensayo se utilizaron macetas con una capacidad de 30 litros. Para su llenado se extrajo suelo de la región semiárida central (Villa Mercedes -San Luis-), del Campo Experimental del Departamento de Ciencias Agropecuarias de la UNSL hasta una profundidad de 40 centímetros. El sustrato de las macetas se elaboró mezclando el suelo con arena en una proporción 3:1 (3 partes de suelo por una de arena fina), para asemejarlo a los suelos del área medanosa, a la vez que se buscó obtener un sustrato que permitiese una adecuada infiltración del agua. Se extrajeron muestras para análisis de suelo que indicaron bajos contenido de materia orgánica (0,84%) y de nitrógeno total (0,052%), con buenos niveles de fósforo (31,62 ppm) y pH (7,72).

En septiembre de 2014, se trasplantaron plantas de digitaria ubicadas en una parcela de la EEA INTA San Luis (Villa Mercedes). Se esperó hasta el inicio de rebrote del próximo ciclo para realizar las mediciones, previendo que la planta estabilice su crecimiento.

Se realizó un corte de limpieza al final de agosto/2015 para eliminar el material senescente acumulado. Luego se procedió a la fertilización nitrogenada en los tratamientos correspondientes. El ciclo de crecimiento del cultivo se inició con el rebrote primaveral el 17 de septiembre de 2015. Esta fecha se estableció a partir del primer día con temperaturas medias diarias superiores a la temperatura base de crecimiento calculada y ulterior a la ocurrencia de la última helada. A partir de este momento y hasta fin de marzo de 2016 se registró el momento de aparición y senescencia foliar, expansión de la lámina foliar, fenología, número de hojas, índice de clorofila, y la intercepción de la radiación. Los registros de temperaturas medias y precipitaciones fueron aportados por la estación meteorológica automática de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA – UNSL).

Al final del ciclo se determinó la acumulación de biomasa aérea. La información obtenida permitió determinar, describir y comparar las variables morfogénicas - estructurales, la producción de materia seca total, intercepción de la radiación, radiación interceptada, IAF, la eficiencia de uso de los recursos (agua, nitrógeno y radiación) e indicador de calidad del forraje (índice de clorofila).

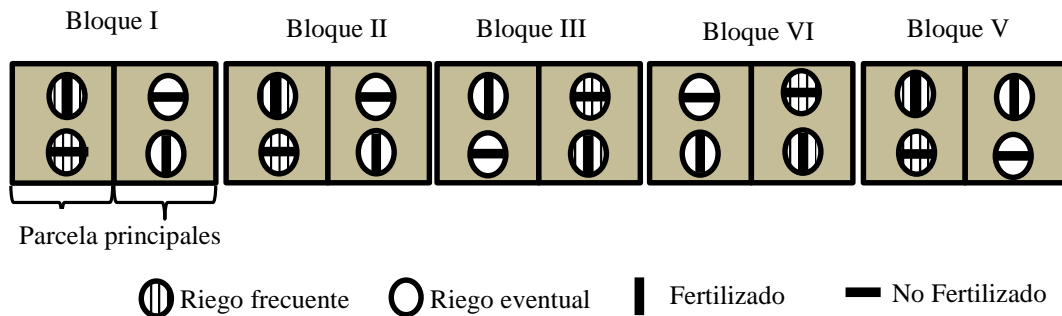
El nivel de anclaje para este estudio se corresponde con el macollo, donde se determinaron las variables morfogénicas y estructurales. El nivel inmediatamente superior quedó definido por la planta en maceta, donde se midieron las variables de acumulación de biomasa aérea (expresada en g MS/planta), indicadores de calidad (índice de clorofila en unidades SPAD), radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi), IAF y eficiencias de uso de los recursos.

Para cumplimentar los objetivos, los tratamientos planteados previeron dos factores, la humedad de suelo (dada por frecuencias de riego) y el nivel de nitrógeno edáfico aplicado. Cada factor tuvo dos niveles de estudio, el primero, riego frecuente (Rf) y riego eventual (Re); y el segundo factor, control (0 Kg N/ha) y con subsidio de nitrógeno (equivalente a 200 kg N/ha, en cada maceta). De esta forma, quedaron planteados cuatro tratamientos: RfN0; RfN200; ReN0; ReN200.

El trabajo se realizó bajo un diseño experimental factorial en parcelas divididas completamente aleatorizadas, con dos factores de estudio (nitrógeno aplicado y frecuencia de riego) y dos niveles de análisis cada uno. Las parcelas principales (2) se dispusieron en repeticiones (5) y se aleatorizaron los niveles del factor riego (Rf y Re), a su vez, estas se

dividieron en dos secundarias, donde se aleatorizaron los niveles de fertilización nitrogenada (N0 y N200). Cada unidad experimental estuvo representada por una maceta con una planta de digitaria.

De acuerdo a lo planteado, fueron necesarias 20 macetas donde se distribuyeron 4 tratamientos en 5 bloques. Se identificaron con cable de teléfono 3 macollos por planta (submuestras), marcando un total de 15 macollos para cada tratamiento.



Los resultados de análisis de suelos, arrojaron valores de fósforo mayores a 20 ppm, por lo que no fue necesario realizar correcciones de dicho nutriente.

Factor nitrógeno aplicado

Los contenidos de nitrógeno en el suelo suelen ser escasos en la provincia de San Luis. Para este trabajo se plantearon dos niveles de nitrógeno aplicado teniendo en cuenta la respuesta productiva de la especie en condiciones potenciales establecidas por Privitello et al 2009: sin fertilizar (N0), y distribuyendo la proporción correspondiente a 200 kg de N/ha (N200) en dos aplicaciones, una previo al inicio del rebrote y la segunda 20 días después de rebrote con un promedio para todos los tratamientos de 14,25 cm de longitud de lámina por hoja y con 2,52 hojas verdes por macollo.

El fertilizante utilizado fue el producto comercial NitroDoble®, que aporta el nutriente en forma de nitrato de amonio, y posee una concentración de 27% de N en masa.

Factor humedad edáfica

El otro factor que se evaluó, fue la respuesta de las variables a la condición hídrica del suelo. El clima semiárido del lugar de estudio, presenta períodos de escasez de agua durante el ciclo de crecimiento de la especie, que podrían generar situaciones de estrés hídrico reflejadas en las variables a medir. Para este factor se plantearon dos niveles: Rf, con el sentido de que la planta no sufra un proceso de estrés y, Re, para someterla a condiciones ambientales similares a las del ciclo de crecimiento de la especie. Por eso, en este último

caso, sólo se realizaron riegos eventuales para evitar un estrés hídrico severo que pudiera ocasionar la muerte de las plantas.

Para establecer el nivel hídrico de Rf, se tuvo en cuenta que para alcanzar el potencial productivo durante el crecimiento estival, *digitaria* requirió de 500 mm (aporte de agua de riego de 226 mm más 274 mm pluviales) para mantener la humedad del suelo cercana capacidad de campo (mayor a 75% de agua útil) (Privitello et al., 2009). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, los promedios de las precipitaciones para dicha época no alcanzan ese registro (Veneciano y Federigi, 2008), por lo que el período estival resulta crítico ya que presenta una alta demanda de evapotranspiración y las precipitaciones resultan insuficientes. Teniendo en cuenta lo expuesto, se planificó alcanzar una lámina mínima de 500 mm (lluvia y riego) durante el verano (trece semanas desde diciembre a febrero). Se consideró como lámina de agua, a la altura o espesor de una capa de agua con la que se cubre toda la superficie de la maceta. Para cumplimentar esto se calculó que las macetas deberían recibir entre 40 y 65 mm de lámina de agua por semana en 3 a 5 riegos/semana durante el verano y dependiendo de las precipitaciones. En primavera (10,5 semanas desde fin de septiembre a noviembre) y a fin de verano (marzo), también se planteó una acumular una lámina de 500 mm (lluvia y riego) para mantener altos niveles de humedad edáfica. Para estas dos épocas la frecuencia de riego planificada fue de 2 veces por semana alcanzando entre 20 y 35 mm de lámina aplicada, dependiendo de las precipitaciones ocurridas y de las demandas ambientales.

Con la finalidad de mantener una buena condición edáfica del suelo, tanto las frecuencias de riego como las láminas aplicadas por semana se modificaron durante el transcurso del experimento, de manera tal de no alterar las respuestas de las variables ante momentos críticos de estrés hídrico.

Durante el ciclo de crecimiento (17 de septiembre de 2015 hasta 31 de marzo de 2016), todos los tratamientos acumularon un total de 789,9 mm de lluvia, distribuidos relativamente en primavera (34%), verano (57 %) y otoño (9 %). Este alto nivel de precipitaciones ocasionó cambios en las frecuencias de riego y los milímetros de lámina aplicados (**Tabla 1** y **Tabla 2**). Para Rf se buscó mantener el suelo con humedad durante todo el ciclo, mientras que Re se regó cuando el suelo se encontraba seco y comenzaban a manifestarse síntomas de marchitez. Los tratamientos fertilizados (N200) tuvieron un desarrollo de la canopia vegetal más importante, lo que ocasionó una mayor necesidad hídrica, mientras que los tratamientos testigos (N0) requirieron menor cantidad de agua.

El nivel pluviométrico para el año de estudio, resultó en bajas diferencias en el agua total que cada tratamiento recibió durante la primavera y el otoño. Durante el verano, la demanda ambiental resultó en mayores necesidades de riego para todos los tratamientos, y permitió cierto contraste entre ellos. Igualmente cabe destacar que la distribución de las precipitaciones hizo que los tratamientos con Re no siempre se encontraran en condiciones de alta humedad edáfica, mientras que el agua aplicada en Rf permitió mantener altos niveles hídricos en el suelo durante el ciclo (**Tabla 1** y **Tabla 2**).

Tabla 1. Cantidad de riegos aplicados (N° de riegos), lámina total aplicada (mm), precipitaciones acumuladas (mm) y agua total recibida (mm) para cada tratamiento.

Tratamiento	N° riegos	Lámina total aplicada (mm)	Precipitaciones (mm)	Agua Total recibida (mm)
ReN0	9	105,0	789,9	894,9
ReN200	24	311,8	789,9	1101,7
RfN0	13	164,7	789,9	954,6
RfN200	26	481,8	789,9	1271,7

Tabla 2. Nivel pluviométrico estacional: cantidad de riegos aplicados, lámina total recibida (riego más precipitaciones en mm) y agua total recibida por semana (mm/semana) durante la primavera (inicio de rebrote a noviembre), verano (diciembre, enero y febrero) y marzo para cada tratamiento.

Tratamiento	Primavera			
	pp (mm)	N° riegos	Agua T	mm/sem
ReN0	265,7	4	313,51	32
ReN200	265,7	4	328,06	33
RfN0	265,7	6	342,09	34
RfN200	265,7	6	347,29	34
Tratamiento	Verano			
	pp (mm)	N° riegos	Agua T	mm/sem
ReN0	449,5	4	496,27	39
ReN200	449,5	18	662,57	53
RfN0	449,5	6	527,45	42
RfN200	449,5	19	823,68	65
Tratamiento	Marzo			
	pp (mm)	N° riegos	Agua T	mm/sem
ReN0	74,7	1	85,09	20
ReN200	74,7	2	111,08	26
RfN0	74,7	1	85,09	20
RfN200	74,7	1	100,68	24

3.2. Ensayo 2: Parcelas de *Digitaria eriantha* Steud. cv Irene

El estudio se llevó a cabo sobre parcelas de *Digitaria eriantha* cv Irene en el campo experimental de agronomía de la FICA – UNSL (V. Mercedes). Cada parcela tiene una superficie de 4 m² y la pastura tiene más de 5 años de antigüedad. Se aplicó un diseño de bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. Se plantearon 3 tratamientos con diferentes frecuencias de corte: producción final “CCC” (un solo corte al final del ciclo o “corte ciclo completo”), corte en vida media foliar “CVMF” (inicio senescencia) y corte a tiempo fijo “CTF” (cortes cada 30 días a partir del rebrote). Se realizó un análisis de suelo (profundidad de 0 a 20 cm) que indicó bajos niveles de nitrógeno total y materia orgánica (0,09% y 1,03%, respectivamente) y buenos niveles de fósforo (24,75 ppm) con un pH de 6,90.

Se midieron una vez a la semana la intercepción de la radiación (IR) y el índice de área foliar (IAF) con ceptómetro. Las variables evaluadas en este ensayo fueron: producción de materia seca por corte y final de todo el ciclo, RFAi por corte y final, densidad de macollos al final del ciclo, intercepción de la radiación, IAF, EUA, EUR y relación T/H (parámetro indicativo de calidad).

Para determinar la ocurrencia de la VMF se identificaron con cable telefónico, cinco macollos por parcela. Una vez a la semana se observaron los macollos seleccionados hasta inicio de senescencia de la primera hoja y se compararon, en este sentido, con los de las macetas. El corte se realizó al verificar la ocurrencia del inicio de senescencia de la primera hoja (VMF) en los macollos identificados de la parcela.

3.3. Tiempo Térmico (TT) y temperatura base (Tb)

Para el cálculo del tiempo térmico o suma térmica se realizó la sumatoria de la diferencia entre temperatura media diaria y la temperatura base:

$$ST = \sum \left(\frac{T^{\circ}max + T^{\circ}min}{2} \right) - T^{\circ}base$$

Para este trabajo se determinó la temperatura base de crecimiento a partir de un modelo de regresión establecido entre el número de hojas y la temperatura media diaria del período previo correspondiente al intervalo de aparición de hojas (Palazzesi, 2010).

3.4. Variables a analizar

Ensayo 1: plantas en macetas sometidas a cuatro tratamientos de fertilización y riego:

- Etapas fenológicas
- Tallos florales
- Variables morfogénicas: tasa de elongación foliar (TEF), filocrono (Fc), vida media foliar (VMF), tasa de aparición de hojas (TAH).
- Acumulación de material senescente (ACSc) y tasa de senescencia (TSc)
- Variables estructurales: número de hojas totales (NHT), número de hojas vivas (NHV) y longitud de lámina foliar (LLF)
- Intercepción de la radiación (IR), índice de área foliar (IAF), radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) y tasa de RFAi (TRFAi)
- Acumulación de biomasa aérea total (ABA)
- Acumulación de biomasa aérea de tallos (ABt)
- Índice de verdor o clorofila (IC)
- Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN)
- Eficiencia de utilización del agua, de la radiación y agronómica del nitrógeno (EUA, EARFAi y EAN).

Ensayo 2: plantas de digitaria ubicadas en parcelas sometidas a dos frecuencias de defoliación:

- Acumulación de biomasa aérea total (ABA)
- Acumulación de biomasa aérea promedio por corte (para CTF y CVMF)
- Acumulación de biomasa de hojas (ABH)
- Acumulación de biomasa de tallos (ABt)
- Estructura vertical: relación tallo:hoja (T/H)
- Estructura horizontal: Densidad de macollos al final del ciclo
- Intercepción de la radiación (IR), radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi), tasa de RFAi (TRFAi) e índice de área foliar (IAF)
- Determinación de IAF crítico
- Eficiencia de utilización del agua y de la radiación (EUA y EURFAi)

3.4.1. Etapas fenológicas

- Elongación: se determinó al detectar cambio en la estructura de los macollos en la planta por el comienzo de la separación de los entrenudos.
- Hoja bandera: cuando se detectó la hoja bandera desplegada.
- Aparición y expansión de la panoja (Floración pre-antesis): se consideró a partir de la emergencia de la inflorescencia saliendo dentro de la vaina de la hoja bandera hasta el momento de la antesis.
- Antesis: cuando se hicieron visibles las anteras en la inflorescencia completamente desplegada.
- Fructificación: luego de que finalizó la antesis y comenzó la etapa de formación del cariopse.

3.4.2. Tallos florales

Al final del ciclo, se determinó la fracción “tallo” como el número de cañas florales por planta (maceta).

3.4.3. Estructura y morfogénesis

– Variables morfogénicas:

- Tasa de elongación foliar de lámina (TEF) y macollo (TEFm), calculadas para cada tratamiento, semanalmente, durante todo el período de crecimiento de las plantas:
 - TEF de lámina: se determinó la tasa de cada lámina, calculada a partir de la longitud de lámina foliar entre la primera medición y el valor máximo alcanzado antes de comenzar su senescencia.
 - TEF del macollo (TEFm): a partir de los valores de longitud de lámina foliar, se estableció la TEF del macollo como la diferencia entre la sumatoria de las longitudes foliares final e inicial, dividido el número de días transcurridos entre dos mediciones sucesivas (Hernández Garay et al., 1997).
 - TEFm máxima: se determinó el valor máximo de TEFm ocurrida en el ciclo de estudio para cada tratamiento.

- Filocrono (Fc): se determinó entre la tercera y séptima hoja (Van Esbroeck et al., 1997):

- Expresado en tiempo térmico “TT” (°C día):

$$Fc = \frac{TT \text{ entre la } 3^{\circ} \text{ y } 7^{\circ} \text{ hojas}}{4 \text{ hojas}}$$

- Expresado en tiempo cronológico, como intervalo de aparición de hojas “IAH” (días)

$$IAH = \frac{Días \text{ entre la } 3^{\circ} \text{ y } 7^{\circ} \text{ hojas}}{4 \text{ hojas}}$$

- Vida media foliar (VMF) expresada en días y en °C día se calculó, según Van Esbroeck et al. (1997), como:

$$VMF = Fc \times NHV$$

- Tasa de aparición de hojas (TAH): se calculó como la relación inversa del filocrono (1/Fc), y su unidad es hoja/día u hoja/°C día (Lemaire y Agnusdei, 2000).

- Senescencia foliar (Sc):

- Acumulación de la senescencia foliar del macollo (ACSc): la senescencia del macollo se definió como la sumatoria de la longitud senescente de todas sus láminas para un momento determinado. La senescencia para cada lámina se calculó a partir de la disminución de su extensión partiendo de su máximo valor.
- Tasa de senescencia foliar (TSc) calculada: Se obtuvo matemáticamente a través de la derivada de la función entre la acumulación de senescencia y el tiempo.
- La tasa de senescencia foliar máxima por macollo (TSc máx) se obtuvo para hojas en proceso de senescencia, como el incremento de la longitud del tejido senescente dividido el número de días transcurridos entre dos mediciones sucesivas (Hernández Garay et al., 1997).

– Variables estructurales:

- Número de hojas totales desarrolladas durante el ciclo (NHT)

- Número de hojas vivas (NHV): En cada observación realizada durante el ciclo, se contaron la cantidad de hojas verdes presentes en el macollo. Se consideró hoja aparecida a aquella cuyos bordes no se tocan, y no se tuvieron en cuenta para el NHV aquellas que presentaron algún grado de senescencia (cuando era mayor a 10 mm).
- Longitud de lámina foliar (LLF): se midió la longitud de lámina foliar una vez a la semana, desde su inserción a nivel de la lígula, hasta la punta, o hasta la base de la zona clorótica en las hojas con senescencia (Hernández Garay et al., 1997).
- Densidad de macollos al final del ciclo de crecimiento: se contó el número de macollos que abarca un aro de 10 cm de diámetro.

3.4.4. Intercepción de la radiación (IR)

Con ceptómetro (Accupar AR LP-80), se midió la radiación solar directa por encima y por debajo de la canopia. La diferencia entre esos dos valores establece la cantidad de radiación que fue capturada por el cultivo. El Accupar AR LP-80 posee 80 sensores distribuidos en una barra de 80 centímetros de longitud. Además, este equipo permite activar 8 secciones de 10 centímetros cada una, comenzando desde el extremo distal de la barra hasta la base. Esto permite adaptar el equipo a diferentes situaciones experimentales. Para el ensayo 1, dado que las macetas tienen un diámetro de 35 cm, se utilizaron 3 segmentos del extremo distal de la barra, mientras que para el Ensayo 2 se utilizó toda la barra. Las mediciones se realizaron una vez a la semana y para cada planta se midió la radiación una vez por encima de la canopia y tres veces por debajo.

El Accupar AR LP-80 calcula Tau (τ), una variable que establece la relación matemática entre la radiación directa por debajo y por encima de la canopia.

$$\tau = \frac{RDAb}{RDAr}$$

RDAr: radiación directa por encima de la canopia.

RDAb: radiación directa por debajo de la canopia.

IR puede definirse como el cociente entre la radiación interceptada por la planta y la radiación total:

$$IR = \frac{RDAr - RDAb}{RDAr}$$

Por lo tanto:

$$IR + \tau = 1$$

IR se calculó a partir de las mediciones realizadas con el ceptómetro como:

$$IR = 1 - \tau$$

3.4.5. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) acumulada por la canopia y tasa de captura diaria (TRFAi)

La radiación fotosintética activa (RFA) se calcula corrigiendo la radiación incidente (RI) por el factor 0,48. Del total de RFA, sólo la fracción interceptada (IR) se utiliza para la producción de biomasa (Collino et al., 2007).

$$RFA = RI \times 0,48$$

RFA: radiación fotosintética activa incidente

RI: Radiación incidente obtenida en Est. Meteorológica de la FICA - UNSL

Luego:

$$RFAi = RFA \times IR$$

RFAi: radiación fotosintética activa interceptada.

IR: intercepción de la radiación o fracción interceptada

La RFAi puede ser expresada como la cantidad capturada diariamente en diferentes momentos del ciclo, es decir, como la tasa de captura diaria - TRFAi - (MJ/m².día) o como la acumulación para un determinado período de tiempo (RFAi ac). Para este último, se estimó la acumulación de RFAi considerando la relación entre la RFA e IR durante todo el ciclo de crecimiento de las plantas tratadas. Para ello, en cada repetición se interpolaron los valores de intercepción entre medidas sucesivas obteniéndose el valor de radiación para cada día dentro del rango.

3.4.6. Índice de área foliar (IAF)

El IAF es una magnitud adimensional que establece la relación entre el área foliar y el área de suelo que ocupa la canopia.

$$IAF = \frac{\text{Área foliar (m}^2\text{)}}{\text{Área de suelo (m}^2\text{)}}$$

Existen diferentes métodos destructivos y no destructivos para la determinación de IAF. Los métodos destructivos implican la toma de muestras de diferentes maneras para poder medir IAF. Para este trabajo, dadas las características de las variables a medir, fue necesario establecer un método que no implique la destrucción de material vegetal, y por ello, se determinó con ceptómetro (Accupar AR LP-80).

3.4.7. Eficiencia en la utilización de la radiación fotosintética activa interceptada (EUR)

La cantidad de materia seca producida depende de la eficiencia con la que sea utilizada RFAi. La eficiencia de la utilización de RFAi (EURFAi) se define como el cociente entre la materia seca producida y la RFAi (g de MS/MJ) (Collino et al., 2007).

$$EURFAi = \frac{\text{Acumulación de biomasa}}{RFAi}$$

3.4.8. Eficiencia en la utilización del Agua recibida por precipitaciones y riego (EUA)

La eficiencia en la utilización del agua se calculó relacionando la producción de materia seca y el agua total recibida incluyendo las precipitaciones y el aporte del riego.

$$EUA = \frac{\text{Acumulación de biomasa}}{\text{Agua total}}$$

3.4.9. Eficiencia agronómica en la utilización del nitrógeno aplicado (EAN)

La eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno (EAN, g MS/g N aplicado) se calculó relacionando el incremento de producción de MS aérea entre los tratamientos con y sin fertilización en relación al N aplicado, para cada nivel hídrico (Dobermann, 2007).

$$EAN = \frac{ABA f - ABA nf}{N \text{ aplicado}}$$

EAN: eficiencia en la utilización del nitrógeno en planta entera (sin raíces) (g de MS/g N aplicado).

ABA f: producción de materia seca de tratamiento fertilizado (g MS/m²)

ABA nf: producción de materia seca de tratamiento no fertilizado (g MS/m²)

N aplicado: dosis de fertilización nitrogenada (g N/m²).

3.4.10. Acumulación de biomasa aérea (ABA)

En macetas, se determinó la acumulación de biomasa de materia seca (MS) realizando un corte de la parte aérea al final del ciclo de crecimiento de todo el material presente (g MS/planta).

En las parcelas, para la obtención del valor de biomasa aérea se consideró la acumulación de MS de la parte aérea de las plantas (ABA) sin considerar las raíces (g MS/m²). Los cortes en parcela se realizaron utilizando un marco de 1 m x 0,50 m (0,5 m²) y según la frecuencia de defoliación prevista en cada tratamiento.

Luego de su recolección, todo el material se llevó a estufa en bolsa de papel a 60°C durante 48 a 72 hs (peso constante).

3.4.11. Relación de biomasa entre tallo y hoja

Se estableció la relación entre la biomasa de tallos y de hojas promedio de todo el ciclo y por corte para el ensayo 2. Esta variable es un indicador de la calidad de la pastura.

$$R\ T/H = \frac{ABt}{ABH}$$

R T/H: relación tallo:hoja

ABt: biomasa de tallos expresada en g MS/m²

ABH: biomasa de hojas expresada en g MS/m²

3.4.12. Índice de clorofila

El medidor de clorofila SPAD 502 determina el contenido de clorofila o “verdor” de las hojas. Se presiona, a manera de pinza, sobre la hoja de tejido vegetal y se obtiene la lectura del contenido de clorofila en menos de dos segundos. El equipo de medición establece un valor indexado que se calcula a partir de la medición de la absorbancia de la radiación por parte de la hoja para dos longitudes de onda (rango unidades SPAD: 0-99,9). Valores más altos de este índice indican mayores contenidos de clorofila presente en la hoja.

El índice de clorofila refleja el contenido de nitrógeno por lo que se puede asociar al contenido de proteína del cultivo. Aunque el equipo no establece directamente los valores de dicho nutriente, frente a situaciones contrastantes (fertilizado y control) permite diferenciar entre cultivos con mayor y menor concentración de proteína (nitrógeno), lo que

convierte a este índice en un indicador indirecto de la calidad de una pastura entre dos situaciones diferentes.

3.4.13. Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN)

El índice de suficiencia de nitrógeno relaciona el índice de verdor o clorofila (IC) entre un tratamiento cualquiera y el IC de una situación sin limitación de nitrógeno. Las necesidades de nitrógeno del cultivo pueden evaluarse a través del índice de suficiencia de N (ISN). Según González Torres et al. (2009), al comparar las lecturas control con las de situaciones fertilizadas se verifican las necesidades de nitrógeno o índice de suficiencia de N (ISN). Los autores advierten que este valor implica la cantidad teórica de N presente en suelo al momento de la medición e indica que el valor máximo de ISN (= 1) corresponde al máximo rendimiento del cultivo logrado con fertilización.

Para este trabajo, se calculó el ISN en dos momentos: a) durante el ciclo para evaluar los cambios a través del tiempo; y b) cuando ocurrió la mayor diferencia entre tratamientos. Para esta última situación, se trabajó con los valores de IC del 27 de noviembre de 2015, momento en el que se encuentran los valores más altos para las mediciones realizadas. El tratamiento con los valores mayores de IC fue ReN200, por lo que se lo tomó de referencia para calcular el ISN en todos los casos.

$$ISN = \frac{ICn}{ICr}$$

ISN: índice de suficiencia de nitrógeno

ICn: índice de clorofila del tratamiento a determinar ISN

ICr: índice de clorofila de referencia (sin restricciones de nitrógeno)

3.5. Análisis estadístico-matemático de resultados

Para establecer la distribución normal de las diferentes variables, se utilizó el test de Shapiro-Wilks sobre los residuos de los datos y las gráficas de qq-plot. La homogeneidad de la varianza fue establecida utilizando el test de Levene y las gráficas de residuos vs predichos. Se realizó análisis de la varianza (ANOVA) y test LSD Fisher (evaluación a posteriori) para identificar las diferencias de medias entre los tratamientos. Se realizaron análisis de correlación de Pearson para establecer la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

Se relacionaron diferentes variables realizando regresiones simples para el análisis de los datos. Se tomaron como criterios para elegir los modelos planteados: el coeficiente de determinación (R^2), los valores de significancia de los coeficientes y del modelo ($p < 0,05$), el error cuadrático medio de predicción (ECMP) y los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano (BIC).

El coeficiente de determinación permite establecer la proporción que el modelo explica de los resultados obtenidos. El p-valor del modelo y de los coeficientes permite determinar la significancia de esos parámetros en el modelo matemático. La comparación del ECMP en diferentes modelos sirve para establecer una referencia del error que se comete con cada uno de ellos, ya que expresa la diferencia entre el “Ycalculado” respecto del “Yobservado”.

Los criterios de selección permiten seleccionar entre un conjunto finito de modelos, y son una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico para un conjunto dado de datos. Para mejorar el ajuste de un modelo, es posible aumentar la probabilidad mediante la adición de parámetros, pero si se hace puede resultar en sobreajuste y los contrastes de hipótesis no penalizan la sobreparametrización. Los criterios de información BIC y AIC resuelven este problema mediante la introducción de un término de penalización para el número de parámetros en el modelo, y por eso, son una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto dado de datos, por lo que ambos permiten establecer criterios para la selección de modelos. El término de penalización es mayor en el BIC que en el AIC y ninguno proporciona una prueba en el sentido de probar una hipótesis nula, es decir, que no indican la validez del modelo en un sentido absoluto pero sí proporcionan un medio para la selección.

Se utilizó Excel e Infostat para el análisis estadístico de los datos (regresión, ANOVA y correlación).

3.5.1. Ecuaciones utilizadas para los modelos predictivos

Lineal: $y = \beta_0 + \beta_1x$

Cuadrática: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$

Polinomial de tercer grado: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3$

Polinomial de cuarto grado: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4$

Polinomial de quinto grado: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 + \beta_5x^5$

Polinomial de sexto grado: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 + \beta_6x^6$

Referencias:

y : variable dependiente.

β_0 : coeficiente cuyo valor es la ordenada al origen.

β_1 : coeficiente cuyo valor es la pendiente de la curva.

$\beta_2; \beta_3; \beta_4; \beta_5; \beta_6$: coeficientes que explican la forma de la curva.

x : variable independiente.

3.5.2. Modelo general para las variables dependientes analizadas en el ensayo 1 con ANOVA

Diseño en parcelas subdivididas con arreglo factorial de dos factores y dos niveles

Parcela principal: riego

Parcela secundaria: fertilización

Modelo estadístico matemático:

$$y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \gamma_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Referencias:

y_{ijk} : es la variable respuesta (dependiente)

μ : Media poblacional de la variable

ρ_k : Efecto debido al bloque k

α_i : Efecto de la parcela principal (frecuencia de riego)

γ_{ik} : Error asociado a las diferencias entre parcelas principales

β_j : Efecto de la parcela secundaria o subparcela j (fertilización)

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto debido a la interacción (riego x fertilización) entre el nivel i de la parcela principal (riego) con el nivel j de la subparcela (fertilización)

ε_{ijk} : Error asociado a las diferencias entre subparcelas

3.5.3. Modelo general para las variables dependientes analizadas en el ensayo 2 con ANOVA

Diseño en bloques completos aleatorizados

Modelo estadístico matemático:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} : Observación de la variable dependiente obtenida en la unidad experimental perteneciente al bloque j a la que se aplicó el tratamiento

μ : Media poblacional de la variable

α_i : Efecto debido al tratamiento i (frecuencia de defoliación)

β_j : Efecto debido al bloque j

ε_{ij} : Variable aleatoria debido al error entre unidades experimentales con el mismo tratamiento.

4. CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de variables climáticas y meteorológicas

4.1.1. Temperaturas medias mensuales

A continuación se presentan las diferencias para las temperaturas medias mensuales entre el año de estudio y dos períodos diferentes (**Tabla 3**). El primero corresponde a las temperaturas históricas y el segundo, a los años más recientes. Al compararlos se puede establecer que el año de estudio presentó una primavera más fría de lo normal con menores temperaturas medias (octubre y noviembre), y por otro lado, los meses más cálidos de diciembre, enero y febrero, fueron más calurosos y alcanzaron temperaturas medias mensuales mayores a los promedios.

Tabla 3. Temperaturas medias mensuales históricas (período 1932 – 1999), recientes (2000 – 2008), del año de estudio (2015 – 2016) y las diferencias entre el período de estudio (2015 – 2016) con las temperaturas históricas y recientes*.

MES	Temperaturas medias (°C)		Diferencia
	Período		
	1932-1999	2015-2016	
Septiembre	12,7	12,57	-0,14
Octubre	16,2	13,62	-2,58
Noviembre	19,15	18,42	-0,73
Diciembre	21,9	23,17	1,27
Enero	22,65	23,33	0,68
Febrero	21,55	23,58	2,03
Marzo	19,6	20,03	0,43
MES	Temperaturas medias (°C)		Diferencia
	Período		
	2000-2008	2015-2016	
Septiembre	12,25	12,57	0,32
Octubre	16,45	13,62	-2,83
Noviembre	19,15	18,42	-0,73
Diciembre	21,25	23,17	1,92
Enero	22,25	23,33	1,08
Febrero	21,3	23,58	2,28
Marzo	19,4	20,03	0,63

*Datos otorgados por la cátedra de Climatología de la FICA – UNSL.

4.1.2. Precipitaciones

Las precipitaciones ocurridas durante la temporada de crecimiento primavero-estival, entre septiembre de 2015 y marzo de 2016, fueron ampliamente superiores a la media de ambos períodos de comparación (**Tabla 4**). Las precipitaciones acumuladas fueron 60% mayor que el promedio histórico (1903-1999), y 33% mayor que el promedio del período reciente (2000-2008). Las variaciones con respecto a los datos históricos muestran incrementos en la mayoría de los meses, excepto para marzo.

En relación al período 2000-2008, los meses de septiembre, noviembre, diciembre de 2015, enero y febrero de 2016 tuvieron un mayor régimen de precipitaciones (**Tabla 4**). Mientras que octubre presentó una variación mínima, marzo fue un 26% menor al promedio del período 2000-2008. Para el mismo período, los mayores incrementos ocurrieron en los meses de septiembre (75% mayor), noviembre (153% mayor) y diciembre (37% mayor).

Tabla 4. Precipitaciones medias mensuales para el período histórico (1903 – 1999), período reciente (2000 – 2008) (Veneciano y Federigi, 2008). Precipitaciones ocurridas durante el ensayo (2015 – 2016) y los porcentajes de variación.

MES	Precipitaciones (mm)		Variación (%)
	Período	Período	
	1903-1999	2015-2016	
Septiembre	26,1	50,5	93%
Octubre	56,2	58,3	4%
Noviembre	78,1	156,9	101%
Diciembre	91,2	153,9	69%
Enero	92,2	174,7	89%
Febrero	75,9	120,9	59%
Marzo	75,3	74,7	-1%
Total	495,0	789,9	60%

MES	Precipitaciones (mm)		Variación (%)
	Período	Período	
	2000-2008	2015-2016	
Septiembre	28,9	50,5	75%
Octubre	59,6	58,3	-2%
Noviembre	62,1	156,9	153%
Diciembre	112,5	153,9	37%
Enero	147	174,7	19%
Febrero	83,9	120,9	44%
Marzo	101,2	74,7	-26%
Total	595,2	789,9	33%

El ciclo durante el cual se realizaron las mediciones para estos ensayos fue más lluvioso que el promedio. Además, la máxima cantidad de días sin precipitaciones fue de 12

entre el 20 y el 31 de marzo (fin de ciclo). Con anterioridad a esto, entre el 29 de septiembre y el 18 de marzo, la máxima cantidad de días sin precipitaciones fue de 7 días (en la segunda quincena de enero). Durante todo el período que duró el estudio ocurrieron 82 precipitaciones, lo que totaliza un 41% de días con lluvias.

En resumen, durante el ciclo de crecimiento de digitaria se presentó una primavera de temperaturas más bajas a los promedios y muy lluviosa, un verano con altas temperaturas (mayores a los promedios) y precipitaciones similares al promedio de la región para dicha época. Todos los tratamientos acumularon un total de 789,9 mm de lluvia entre el rebrote y fin de marzo.

4.2. Ensayo 1 - Macetas

4.2.1. Determinación de la temperatura base de crecimiento

Teniendo en cuenta que las temperaturas primaverales fueron relativamente bajas y diferentes a los promedios históricos, se estableció un modelo de regresión entre la aparición de las hojas y la temperatura media diaria del período previo correspondiente al IAH. Con el modelo establecido (**Figura 8** y **Tabla 5**) se calculó la temperatura base para el momento en el que ocurre la aparición de la primera hoja en la intersección de la línea de regresión con el eje de las equis. A partir del modelo de la **Figura 8** y sus coeficientes (**Tabla 5**) se determinó una temperatura base de 7,01 °C. De acuerdo a estos resultados, se estableció para el presente trabajo como temperatura base de crecimiento 7 °C.

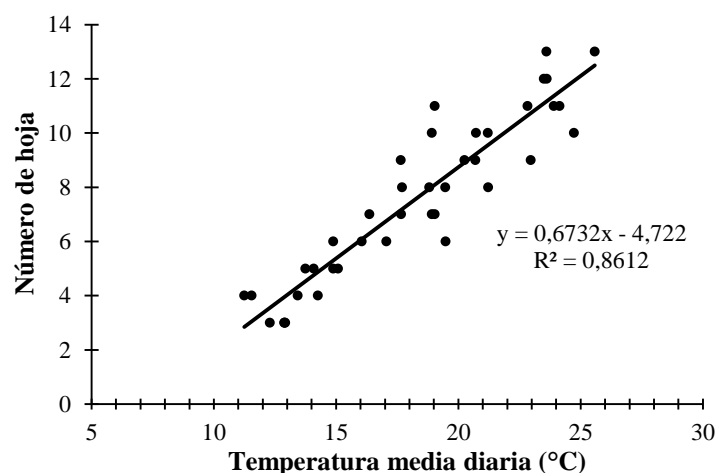


Figura 8. Regresión lineal simple: relación lineal entre las hojas aparecidas (NHT) y la temperatura media diaria para un período de un intervalo de aparición de hojas (IAH en días).

Tabla 5. Coeficientes de la regresión lineal: número de hojas totales (NHT) con la temperatura media diaria del período previo (°C).

Regresión	Ecuación	Coeficientes		
		β_0	β_1	R^2
NHT	$y = \beta_0 + \beta_1x$	-4,772	0,6732	0,86

4.2.2. Etapas Fenológicas de las plantas

4.2.2.1. Elongación

Los resultados obtenidos para la ocurrencia de la elongación se encuentran en la **Tabla 6**, y se observa que el inicio de la etapa no se vio afectado por los tratamientos aplicados, presentando valores muy similares ($p > 0,05$). Se detectó el inicio de la elongación con una acumulación de 548 a 637 °C día entre los 66 y 72 días después del rebrote primaveral (ddr). El registro de la ocurrencia de iE se determinó el mismo día para el 100 % de las plantas (4 repeticiones) del tratamiento RfN0, por lo que las medidas de dispersión de la media fueron cero tanto cuando se expresa en °C día como en ddr (DE, EE y CV).

Tabla 6. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia del inicio de la elongación (iE), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de iE	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	637,12	113,8	50,91	17,87
ReN200	°C día	5	568,91	40,31	18,03	7,09
RfN0	°C día	5	592,05	0	0	0
RfN200	°C día	5	547,96	53,59	23,97	9,78
ReN0	Días	5	72	7,87	3,52	10,9
ReN200	Días	5	67,2	3,03	1,36	4,51
RfN0	Días	5	69	0	0	0
RfN200	Días	5	66,6	2,51	1,12	3,77

En cuanto a la duración de la etapa fenológica, existe una tendencia de acortamiento cuando se comparan los tratamientos según la fertilización recibida (**Tabla 7**), aunque no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$).

El inicio de la elongación de la planta no se modificó por efecto del nitrógeno y del agua, mientras que su duración mantuvo una tendencia a alargarse frente a limitaciones en el contenido de nitrógeno edáfico.

Tabla 7. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la elongación (E), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Duración de E	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	270,76	88,49	39,57	32,68
ReN200	°C día	5	164,48	58,67	26,24	35,67
RfN0	°C día	5	292,51	48,71	21,78	16,65
RfN200	°C día	5	127,73	45,34	20,27	35,49
ReN0	Días	5	18,8	6,1	2,73	32,4
ReN200	Días	5	11,8	4,02	1,8	34,1
RfN0	Días	5	19,68	3,27	1,46	16,6
RfN200	Días	5	9,2	3,27	1,46	35,6

4.2.2.2. Hoja bandera

El estado fenológico de hoja bandera ocurrió entre los 676 °C día (75 ddr) y los 908 °C día (90 ddr) según los tratamientos (**Tabla 8**).

Tabla 8. Medidas de resumen: media, desvío estándar, n, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia del estado fenológico hoja bandera (HB), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de HB	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	907,88	88,24	39,46	9,72
ReN200	°C día	5	733,39	88	39,36	12
RfN0	°C día	5	884,55	48,7	21,78	5,51
RfN200	°C día	5	675,68	84,64	37,85	12,53
ReN0	Días	5	90,8	5,97	2,67	6,58
ReN200	Días	5	79	6,16	2,76	7,8
RfN0	Días	5	89,14	3,43	1,53	3,85
RfN200	Días	5	75	6	2,68	8

Los análisis de la varianza entre la ocurrencia de HB y las variables categóricas (°C día y ddr) muestran que no existió significancia para la interacción entre los factores de estudio ($p > 0,05$) ni tampoco para el agua ($p > 0,05$), pero sí hubo efecto significativo de la fertilización nitrogenada ($p < 0,05$). Al comparar los tratamientos fertilizados y testigos, se determinó que la aparición de la hoja bandera ocurrió estadísticamente antes para los tratamientos con altos niveles de nitrógeno edáfico, en cambio, en las plantas no fertilizadas,

fue 13 días después con una acumulación de 192 °C día mayor (**Tabla 9** y **Tabla 10**). Estos resultados corroboran la menor duración de la elongación por efecto de la fertilización.

Tabla 9. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la hoja bandera (HB), calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de HB (°C día)	n	EE	Dif. de medias
N200	704,54	10	24,75	B
N 0	896,22	10	24,75	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 10. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la hoja bandera (HB), calculada como acumulación de días desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de HB (ddr)	n	EE	Dif. de medias
N200	77	10	1,74	B
N 0	89,97	10	1,74	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los resultados para la duración de la etapa HB se presentan en la **Tabla 11**. No existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados para la variable en estudio ($p > 0,05$). Los valores obtenidos muestran una alta variabilidad reflejada en la DE, EE y CV. La duración de la “Hoja bandera” no se vio afectada por los tratamientos aplicados y tampoco puede determinarse que exista ninguna tendencia de acortarse o alargarse según los factores evaluados.

Tabla 11. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración del estado fenológico Hoja bandera, calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Duración de HB	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	97,49	32,55	14,56	33,38
ReN200	°C día	5	131,74	56,67	25,34	43,02
RfN0	°C día	5	158,21	28,86	12,91	18,24
RfN200	°C día	5	107,3	55,83	24,97	52,03
ReN0	Días	5	5,8	2,17	0,97	37,4
ReN200	Días	5	8,8	4,15	1,85	47,1
RfN0	Días	5	10,32	2,16	0,97	20,9
RfN200	Días	5	7,4	4,1	1,83	55,4

4.2.2.3. Aparición y expansión de la panoja – Floración pre-antesis

La aparición de la panoja mostró un rango de variación según tratamientos, entre 783 °C día para RfN200, y 1043 °C día para RfN0, que corresponde a los 82 y 99 ddr, respectivamente (**Tabla 12**).

Tabla 12. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la aparición de la panoja (Ap. P), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de Ap. P	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	1005,0	81,25	36,34	8,08
ReN200	°C día	5	865,1	62,92	28,14	7,27
RfN0	°C día	5	1043,0	29,73	13,29	2,85
RfN200	°C día	5	783,0	50,18	22,44	6,41
ReN0	Días	5	96,6	4,72	2,11	4,89
ReN200	Días	5	87,8	4,27	1,91	4,86
RfN0	Días	5	99,4	1,67	0,75	1,68
RfN200	Días	5	82,4	3,29	1,47	3,99

Los análisis de la varianza entre la aparición de la panoja y las variables categóricas (°C día y ddr) muestran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y determina que no existió interacción entre los factores. Mientras que el factor “Riego” no manifiesta ningún efecto ($p > 0,05$), la fertilización revela diferencias para la variable en estudio ($p < 0,05$) (**Tabla 13** y **Tabla 14**). La aparición de la panoja sucedió anticipadamente para los tratamientos fertilizados (con 824,06 °C día a los 85 ddr vs no fertilizados: 1024,07 °C día a los 98 ddr). Esto generó una diferencia de 200 °C día y 13 días entre ambos. De manera similar a lo obtenido para los tratamientos fertilizados, y en la misma región de estudio, Veneciano (2006) reporta que la fenofase de floración de *Digitaria eriantha* cv Irene comienza en diciembre, momento en el cual la pastura inicia un período de intenso crecimiento, y alcanza plenitud de floración a fines de ese mes. En los resultados obtenidos para este trabajo, los tratamientos sin fertilización muestran un cierto grado de atraso (inicio de floración a fines de diciembre) respecto a lo encontrado por Veneciano (2006).

Tabla 13. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia de la aparición de la panoja (Ap. P), calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de Ap. P (°C día)	n	EE	Dif. de medias
N200	824,06	10	20,22	B
N 0	1024,07	10	20,22	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 14. Media, n, error estándar, y diferencia de medias por test LSD para la ocurrencia de la aparición de la panoja, calculada como acumulación de días desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de Ap. P (ddr)	n	EE	Dif. de medias
N200	85,1	10	1,21	B
N 0	98	10	1,21	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los valores de la duración de la etapa fenológica comprendida entre la aparición de la panoja y el inicio de la antesis obtenidos para los tratamientos variaron entre 169,9 y 237,5 °C día, y entre 10,8 y 14 ddr (**Tabla 15**). No existieron diferencias estadísticamente significativas para el modelo planteado. Los resultados que se muestran en la **Tabla 15** tampoco indican que haya una tendencia respecto de la duración de la etapa fenológica según los factores de estudio.

Tabla 15. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la floración (formación de la panoja), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Duración de Floración	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	237,5	68,38	30,58	28,79
ReN200	°C día	5	169,9	29,25	13,08	17,22
RfN0	°C día	5	216,1	26,76	11,97	12,38
RfN200	°C día	5	208,8	32,04	14,33	15,34
ReN0	Días	5	14	4,18	1,87	29,9
ReN200	Días	5	10,8	2,49	1,11	23,1
RfN0	Días	5	12,68	2,16	0,97	17
RfN200	Días	5	14	2,12	0,95	15,2

4.2.2.4. Antesis

Considerando todos los tratamientos, la antesis se produce en las inflorescencias cuando la planta acumula entre 992 °C día y los 1259 °C día a los 96 y 112 días después del rebrote primaveral (**Tabla 16**).

Tabla 16. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la antesis (An), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de An	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	1242,89	53,53	23,94	4,31
ReN200	°C día	5	1035,02	46,04	20,59	4,45
RfN0	°C día	5	1258,87	48,87	21,85	3,88
RfN200	°C día	5	991,81	21,44	9,59	2,16
ReN0	Días	5	110,6	3,58	1,6	3,23
ReN200	Días	5	98,6	2,19	0,98	2,22
RfN0	Días	5	111,68	3,27	1,46	2,92
RfN200	Días	5	96,4	1,34	0,6	1,39

Existieron diferencias estadísticas para la ocurrencia de la antesis ($p < 0,05$). No hubo efecto de interacción entre los factores “riego*Fertilización” ($p > 0,05$) ni tampoco del factor riego ($p > 0,05$), sino que las diferencias se manifestaron solamente por efecto de la fertilización ($p < 0,05$). Mientras que los tratamientos fertilizados comienzan la antesis alrededor de los 1013 °C día, (97 ddr) los no fertilizados lo hacen aproximadamente 240 °C día después (111 ddr) (**Tabla 17** y **Tabla 18**).

Tabla 17. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del inicio de la antesis, calculada como acumulación de tiempo térmico desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de An (°C día)	n	EE	Dif. de medias
N200	1013,42	10	9,82	B
N 0	1250,88	10	9,82	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 18. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del inicio de la antesis, calculada como acumulación de días desde el rebrote.

Fert. N	Ocurrencia de An (ddr)	n	EE	Dif. de medias
N200	97,50	10	0,64	B
N 0	111,14	10	0,64	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

La duración de la antesis fue variable según los tratamientos: entre 8 y 18 días, y entre 124 y 304 °C día (**Tabla 19**).

Tabla 19. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la duración de la antesis, calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Duración de An	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	175,74	70,75	31,64	40,3
ReN200	°C día	5	303,63	46,04	20,59	15,2
RfN0	°C día	5	124,23	5,55	2,48	4,47
RfN200	°C día	5	274,98	131,5	58,81	47,8
ReN0	Días	5	10,6	4,04	1,81	38,1
ReN200	Días	5	18,4	2,19	0,98	11,9
RfN0	Días	5	7,68	0,41	0,18	5,32
RfN200	Días	5	15,6	7,89	3,53	50,6

No existieron diferencias significativas y se aprecia una importante variabilidad en los datos recogidos que incrementaron las medidas de dispersión (DE, EE y CV) (**Tabla 19**). A pesar de esto, se observa que existió una tendencia al aumento en la duración de la antesis para los tratamientos fertilizados (8 días más en promedio para los fertilizados según los valores medios obtenidos).

4.2.2.5. Fructificación

El inicio de la fructificación comenzó entre los 1267 °C día (112 ddr) y los 1419 °C día, (121 ddr) (**Tabla 20**). No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. No se evidencia ninguna tendencia en los resultados obtenidos. En promedio, la formación del cariopse comenzó a los 117 ddr (11/01/16) con una acumulación de 1351 °C día. En coincidencia con estos resultados, otros autores reportan que a mediados de enero, la especie alcanza la fructificación y comienza un período con una proporción creciente de desgrane en la misma región de estudio (Veneciano, 2006; Privitello y Gabutti 2004). Al igual que lo sucedido en iE, se detectó el inicio de Fr el mismo día para el tratamiento ReN200, por lo que las medidas de dispersión fueron igual a cero.

Tabla 20. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la ocurrencia de la fructificación (Fr), calculada como acumulación de días y tiempo térmico desde el rebrote.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de Fr	DE	EE	CV
ReN0	°C día	5	1418,63	73,01	32,65	5,15
ReN200	°C día	5	1338,65	0	0	0
RfN0	°C día	5	1383,09	54,42	24,34	3,93
RfN200	°C día	5	1266,79	145,5	65,08	11,5
ReN0	Días	5	121,2	3,83	1,71	3,16
ReN200	Días	5	117	0	0	0
RfN0	Días	5	119,3	2,86	1,28	2,4
RfN200	Días	5	112	8,77	3,92	7,83

En síntesis, se observa que mientras la elongación comenzó al mismo tiempo para todos los tratamientos, la aparición de la inflorescencia se adelantó por efecto de la fertilización, lo que comprueba una menor duración de la elongación para estos tratamientos. No hubo diferencias en la duración de las etapas HB y F entre los tratamientos, pero si se adelantó la ocurrencia de dichas etapas por efecto de la fertilización nitrogenada. Existen indicios de una mayor duración de la antesis por efecto de la fertilización, pero sin diferencias estadísticas. Sin embargo, el aparente cambio en la duración, determina que la etapa de fructificación ocurra simultáneamente para los cuatro tratamientos. Estos resultados indican que la fertilización adelantó el comienzo de las etapas reproductivas con una tendencia al aumento de la duración de la antesis. En coincidencia con estos, Ferri (2010) encontró en *Panicum coloratum* que distintos niveles de fertilización nitrogenada (entre 0 y 245 kg N/ha) aceleraron la ocurrencia de las etapas reproductivas.

4.2.3. Cantidad de tallos florales

Se contabilizó el número de tallos florales para cada planta. En la **Tabla 21** se presentan las medidas de resumen para el número de tallos florales de cada tratamiento. Se puede apreciar una alta variación para la cantidad de tallos florales alcanzados por planta, tanto entre tratamientos como dentro de los mismos, principalmente en los no fertilizados. Para San Luis, Veneciano (2006) menciona que el número de tallos florales por planta puede ser muy variable, lo que concuerda con los CV y los valores promedio determinados (**Tabla 21**). Además se observa que las plantas que recibieron fertilización marcan una tendencia

con mayores valores para el número de tallos florales. Cuando el nivel de fertilización fue de cero, no se observa una tendencia importante generada por el factor de riego, en cambio en las fertilizadas, se detecta que la frecuencia de riego más alta promovió una mayor cantidad de tallos.

Tabla 21. Medidas de resumen: media, desvío estándar, n, error estándar y coeficiente de variación para el número de tallos florales según tratamiento.

Tratamiento	n	Número de Tallos (Tallos/planta)	DE	EE	CV
ReN0	5	10,4	9,5	4,25	91,37
ReN200	5	71	5,57	2,49	7,84
RfN0	5	6,8	5,54	2,48	81,48
RfN200	5	87,6	27,23	12,18	31,08

Existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). No hubo efecto de la frecuencia de riego ni tampoco interacción entre factores ($p > 0,05$), pero en cambio, el factor nitrógeno mostró diferencias estadísticas para el número de tallos florales ($p < 0,05$). Las plantas que recibieron fertilización nitrogenada manifestaron un número superior de tallos florales (**Tabla 22**).

Tabla 22. Media, n, error estándar, y diferencia de medias (test LSD Fisher) para el número de tallos florales según el nivel de nitrógeno aplicado.

Fert. N	n	Número de Tallos (Tallos/planta)	EE	Dif. de medias
N200	10	79	3,78	A
N 0	10	9	3,78	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

En síntesis, elevados aportes de nitrógeno al suelo estimularon la producción de la fracción lignificada de la planta, no así el aporte de agua de manera particular. Dado que no hubo un marcado estrés hídrico durante la fase reproductiva, el agua no impactó en la proporción de tallos y consecuentemente no hubo interacción entre los factores de estudio.

4.2.4. Variables morfogénicas

4.2.4.1. Tasa de elongación (TEF)

4.2.4.1.1. Tasa de elongación de lámina foliar de cada hoja (TEF)

A partir de la longitud foliar máxima alcanzada por cada lámina, se elaboró la **Figura 9** donde se muestran los promedios de la TEF para cada hoja. No existieron diferencias

estadísticas para la variable en estudio entre los tratamientos aplicados ($p > 0,05$). Las TEF más altas en los tratamientos fertilizados se presentaron en las láminas 6 y 7 durante la elongación, previo a la acumulación máxima de 12 hojas. En los tratamientos sin fertilizar la TEF de la 11°, 12°, 13° y 14° hoja superaron el valor medio, previo a la acumulación máxima de 16 hojas. Cabe destacar que durante las mediciones se detectó que las plantas no fertilizadas tenían un menor porte y en los macollos vegetativos se observó que sus hojas comenzaron a presentarse finas y muy largas a partir de mediados hacia finales de ciclo (**fotos en anexo II**). Esto pudo haber generado mayores TEF en las hojas aparecidas durante ese período. La TEF mantuvo un promedio de $8,52 \pm 2,34$ mm/día.hoja para todos los tratamientos y hojas. Privitello et al. (2012) encontraron menores TEF para la misma especie, que variaron entre 2,7 y 5,8 mm/día.hoja según la época del año (primavera y verano respectivamente) logrando las mayores tasas cuando la oferta ambiental fue mayor. Con menores precipitaciones, durante otro ciclo de estudio, se obtuvo una TEF de 6,54 mm/día.hoja para *digitaria* en parcelas sin fertilizar (Rossi et al., 2015a). Al comparar los valores obtenidos para *digitaria* con otras especies, otros autores reportaron mayores TEF para *Eragrostis curvula* y menores para *Panicum coloratum* y *Tetrachne dregei* en la misma región de estudio (Lucero et al., 2015; Privitello et al., 2012).

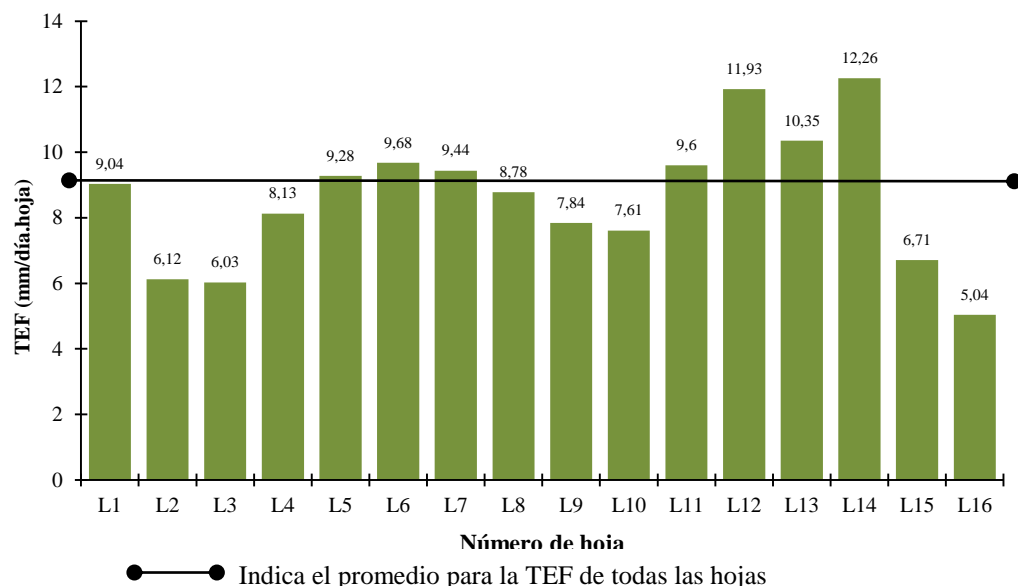


Figura 9. Media de la TEF por lámina sin discriminar tratamientos (mm/día.hoja).

4.2.4.1.2. Tasa de elongación foliar del macollo

A partir de la sumatoria de la longitud de las láminas foliares del macollo (LLFm), se calculó la TEFm como la relación entre la diferencia de LLFm entre dos mediciones

consecutivas y el tiempo transcurrido. Esta variable permite analizar velocidad de crecimiento del macollo para los diferentes tratamientos, a diferencia de la anterior donde se evaluó el crecimiento de las hojas separadamente. En la **Tabla 23** se presentan las medidas de resumen para la TEFm máxima alcanzada durante todo el ciclo (TEFm máx). Se puede apreciar que existe una tendencia al aumento de la variable según la fertilización aplicada. En cambio cuando se comparan los resultados según el nivel de riego, los valores resultan similares para un mismo nivel de nitrógeno.

Tabla 23. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la tasa de elongación de lámina foliar máxima del macollo (TEFm máx) según tratamiento.

Tratamiento	n	TEFm máx (mm/día.macollo)	DE	EE	CV
ReN0	5	28,75	3,86	1,73	13,4
ReN200	5	38,14	6,04	2,7	15,8
RfN0	5	27,83	6,04	2,7	21,7
RfN200	5	43,57	3,14	1,4	7,2

Los resultados del test de ANOVA muestran que existieron diferencias significativas para la variable en estudio ($p=0,044$). No existió interacción entre los factores analizados y solamente el efecto del nitrógeno resultó significativo ($p<0,05$). En la **Tabla 24** se observa que cuando los macollos alcanzan su máxima tasa de elongación de lámina foliar, aquellos que recibieron un subsidio de nitrógeno, llegan a los 40,85 mm/día.macollo, superando en 12,56 mm/día.macollo al testigo.

Tabla 24. Media, desvío estándar, error estándar, y diferencia de medias (LSD) para la tasa de elongación de lámina foliar máxima del macollo (TEFm máx) según tratamiento.

Nivel de fertilización	TEFm máx (mm/día.macollo)	DE	EE	Dif. de medias
N 0	28,29	4,81	1,52	B
N 200	40,85	5,36	1,7	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p<0,05$).

4.2.4.1.3. Modelos de regresión para la tasa de elongación de lámina foliar del macollo

Se analizó la posibilidad de realizar modelos múltiples considerando el tiempo térmico y el agua total recibida para cada tratamiento, pero debido al bajo grado de significancia de modelos y variables ($p>0,05$) y dado que se presentó colinealidad entre las variables independientes, los análisis de resultados se hicieron sobre modelos simples.

En la **Figura 10** se encuentran las curvas de regresión simple para cada tratamiento donde se relacionan TEFm a través del tiempo (días desde el rebrote) y en función del tiempo térmico ($^{\circ}\text{C}$ día) durante la primavera (en **Tabla 1** y **Tabla 2 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos con los coeficientes). Los tratamientos sin fertilizar presentaron un menor R^2 .

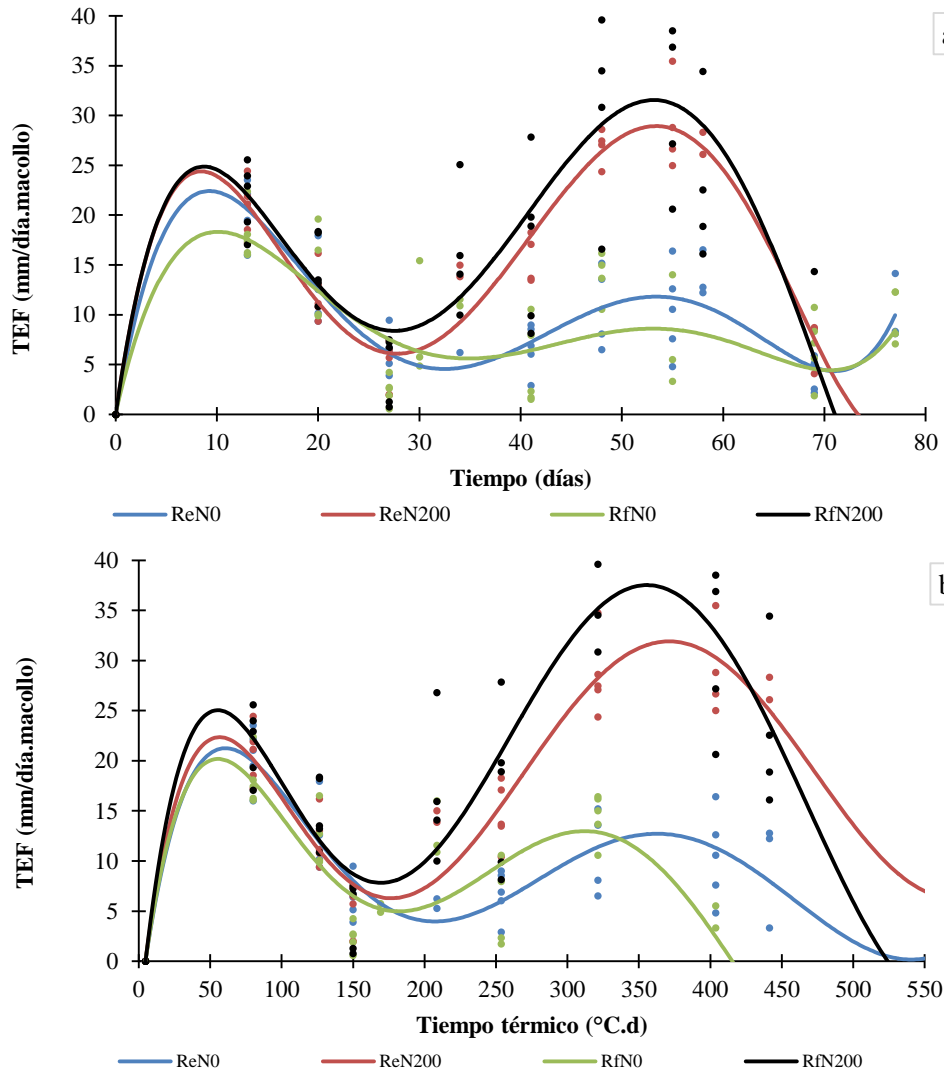


Figura 10. Tasa de elongación de lámina foliar del macollo (TEFmac) por tratamiento durante la primavera, según ddr (a) y TT (b).

Se observa un incremento de la TEFm en todos los tratamientos al inicio del crecimiento. Las curvas obtenidas presentaron un comportamiento bimodal, alcanzando valores máximos alrededor de los 15 ddr (50°C día) y 55 ddr (350 a 400°C día). Las diferencias en fertilización entre tratamientos muestran cambios en la TEFm cuando se las analiza a través del tiempo y según el tiempo térmico. Al inicio del rebrote primaveral, no parecen existir diferencias, pero a medida que transcurre el crecimiento de los macollos, se acentúan las divergencias entre los tratamientos, y las TEFm se ven favorecidas por la

fertilización. El comportamiento bimodal de las curvas de TEFm se debe a que al inicio de la elongación foliar, durante el rebrote primaveral, el crecimiento depende de las reservas acumuladas (base de los macollos activos y raíces), por lo que el efecto de la fertilización resulta menor. Posteriormente, se detecta claramente el estímulo dado por el subsidio de nitrógeno edáfico y el crecimiento se ve promovido. Teniendo en cuenta que la fertilización nitrogenada se realizó en dos momentos: previo al rebrote y 20 ddr, las máximas TEFm se alcanzan a los 10 y 30 días después de la aplicación, respectivamente.

Respuestas similares con aumentos en la TEFm por efecto de la fertilización nitrogenada han sido reportados por muchos autores en diferentes especies (Da Silva et al. (2012) en *Brachiaria decumbens*; Costa et al. (2013) en *Axonopus aureus*; Garcez Neto et al. (2002) en *Panicum maximum* cv. Mombaça; Gomes et al. (2012) en *Brachiaria ruziziensis*; Oliveira et al. (2007) en *Panicum maximum* cv. Tanzania; Pereira et al. (2011) en *Panicum maximum* cv mombaça; Quadros y Bandinelli (2005) en *Lolium multiflorum* y *Paspalum urvillei*; Carvalho Santos et al. (2009) en *Brachiaria brizantha* cv Marandu).

En promedio durante la primavera, la TEFm fue de 8,53 mm/día.macollo y 14,57 mm/día.macollo para los tratamientos testigos y fertilizados respectivamente. TEFm similares a la de los tratamientos fertilizados con valores de 15,47 mm/día.macollo se obtuvieron en otro ciclo de estudio para digitaria en parcelas experimentales sin fertilizar en la misma región (Rossi et al., 2015a). Comparativamente, Lucero (2015) reportó valores similares para *Panicum coloratum* (12 mm/día.macollo) y menores para *Tetrachne dregei* (9 mm/día.macollo), en la región semiárida. En el centro-oeste santafesino, Berone y Dreher (2007) reportaron mayores TEFm para *Agropyron intermedium* (agropiro criollo) y *Bromus willdenowii* (cebadilla) y menores para *Festuca arundinacea* durante la primavera (18,98; 16,45; y 3,62 mm/día.macollo, respectivamente).

Algunos autores indican que las mayores tasas de crecimiento en términos de acumulación de MS de digitaria están asociadas a los estadios reproductivos durante la floración (diciembre) cuando hay un mayor incremento de la acumulación de tallos (Privitello y Gabutti, 2004; Veneciano, 2006). Dichos resultados son posteriores a las TEFm aquí determinadas, donde se analizó solamente el crecimiento foliar del macollo, por lo que podría pensarse que las TEFm más altas se alcanzaron previo a la intensificación del crecimiento establecido por dichos investigadores.

4.2.4.2. Aparición de hojas (Filocrono y TAH)

4.2.4.2.1. Intervalo de aparición de hojas (IAH)

Los valores medios para el IAH (días transcurridos entre la aparición de dos hojas sucesivas) de los diferentes tratamientos se muestran en la **Tabla 25**. El ANOVA mostró que existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Además reveló que hubo interacción entre los factores (fertilización x riego). RfN200 presentó una mayor velocidad de recambio foliar ($9,03 \pm 0,21$ días) y fue significativamente menor que ReN0 y RfN0 ($p < 0,05$), mientras que no mantuvo diferencias estadísticas con ReN200 ($p > 0,05$). RfN0 mostró un IAH más alto que el resto de los tratamientos ($13,72 \pm 1,8$ días) ($p < 0,05$). Las diferencias entre ReN0 y RfN0 muestran que cuando no se fertilizó, el aumento en la frecuencia de riego generó un mayor IAH, y por lo tanto, una menor velocidad en la aparición de hojas.

Tabla 25. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test DGC) para el intervalo de aparición de hojas (IAH) según tratamientos.

Tratamiento	n	IAH (días)	DE	EE	CV	Dif. med.
RfN0	5	13,72	1,8	0,08	13,09	A
ReN0	5	10,96	0,63	0,28	5,71	B
ReN200	5	9,35	0,68	0,30	7,25	C
RfN200	5	9,03	0,21	0,09	2,32	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.2.4.2.2. Filocrono expresado en tiempo térmico (Fc)

Se observa que Fc para los diferentes tratamientos varió entre $69,36 \pm 4,17$ °C día y $139,18 \pm 22,34$ °C día (**Tabla 26**). Existieron diferencias significativas entre tratamientos y hubo interacción entre los factores (fertilización x riego). De manera similar a lo ocurrido para el IAH, RfN200 y ReN200 muestran menor Fc, lo que implica una velocidad significativamente mayor de recambio foliar respecto de RfN0 y ReN0 ($p < 0,05$). RfN0 fue estadísticamente superior que el resto de los tratamientos, con el mayor Fc y por lo tanto, la menor velocidad de recambio foliar ($p < 0,05$).

Tabla 26. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el filocrono (Fc) según tratamientos.

Tratamiento	n	Fc (°C día)	DE	EE	CV	Dif. med.
RfN0	5	139,18	22,34	9,99	16,1	A
ReN0	5	98,71	5,53	2,47	5,73	B
ReN200	5	78,99	10,86	4,86	13,1	C
RfN200	5	69,36	4,17	1,87	6,02	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Valores similares de IAH y de Fc han sido reportados para digitaria en diferentes ciclos de crecimiento para la misma región de estudio, con variaciones entre 9 y 17 días/hoja y entre 89 y 156 °C día/hoja (Borcosqui et al., 2012; Privitello et al., 2012; Rossi et al., 2015a). Al comparar los resultados obtenidos en digitaria con otras especies forrajeras, Privitello et al. (2012) reportaron una mayor velocidad de aparición foliar para *Eragrostis curvula* en la misma región (IAH entre 8 y 11 días/hoja; Fc entre 44 y 117 °C día/hoja según época del año). Falco (2017) determinó para pasto llorón sin fertilizar un Fc mayor (127 °C día y 13 días) en el mismo sitio de estudio. Distintos resultados muestran para *Panicum coloratum* una menor velocidad que digitaria, tanto para praderas cultivadas en San Luis (IAH entre 11 y 19 días/hoja; Fc entre 103 y 175 °C día/hoja; según Privitello et al., (2012) y Lucero (2015) para distintos años), como en La Pampa (IAH entre 12 y 28 días/hoja; Fc entre 131 y 324 °C día/hoja; según lo informado por Ferri et al. (2008) para tres años consecutivos). *Chloris gayana* en la provincia de San Luis, presentó la mayor velocidad de recambio foliar según lo informado por Falco (2017) para el ciclo 2016/2017 (IAH: 9 a 11 días; Fc: 54 a 71 °C día) y por Guerra et al. (2017) para el ciclo 2015/2016 (IAH: 10±1 día; Fc: 70±18 °C día).

Los tratamientos fertilizados desplegaron más rápidamente sus hojas, con una tendencia a acelerarse cuando la disponibilidad de agua era mayor. Por el contrario, los que no recibieron fertilización fueron más lentos, y además, cuando el riego fue abundante tuvieron una mayor duración de IAH y de Fc. La disminución de la velocidad de recambio foliar por efecto de un mayor nivel de riego en los tratamientos no fertilizados podría asociarse al lavado de nutrientes, principalmente nitrógeno, si se considera que los suelos se caracterizan por bajos contenidos de materia orgánica y por ende, bajos contenidos de nitrógeno edáfico (Veneciano y Terenti, 1997; Peña Zubiato, 1998; Veneciano y Frigerio, 2008), Esto denota una mayor sensibilidad de la variable a cambios en el contenido de nitrógeno (Tabla 25 y Tabla 26).

4.2.4.2.3. Tasa de aparición de hojas (TAH)

La TAH es una medida directa de la velocidad con la que aparecen las hojas. En la **Tabla 27** y **Tabla 28** se muestran los resultados en hojas/día y en hojas/°C día. En ambos casos el ANOVA indica que existieron diferencias estadísticas entre tratamientos asociadas a la interacción de factores (fertilización x riego; $p < 0,05$).

Tabla 27. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la tasa de aparición de hoja (TAH) según tratamientos.

Tratamiento	n	TAH (hojas/día)	DE	EE	CV	Dif. med.
RfN200	5	0,111	0,00256	0,00406	2,31	A
ReN200	5	0,107	0,00781	0,00406	7,27	A
ReN0	5	0,091	0,00547	0,00406	5,98	B
RfN0	5	0,074	0,01082	0,00406	14,62	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 28. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la tasa de aparición de hoja (TAH) según tratamientos.

Tratamiento	n	TAH (hojas/°C día)	DE	EE	CV	Dif. med.
RfN200	5	0,014	0,00087	0,00064	6,04	A
ReN200	5	0,013	0,00164	0,00064	13,41	A
ReN0	5	0,010	0,00061	0,00064	5,91	B
RfN0	5	0,007	0,00117	0,00064	16,01	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los tratamientos fertilizados muestran las mayores velocidades de aparición de hojas (expresadas en ambas unidades), siendo estadísticamente iguales entre ellos y superiores al resto ($p < 0,05$). De manera similar a lo analizado en el filocrono, se observa que la fertilización aumentó la velocidad con la que aparecen las nuevas hojas en el macollo. Al analizar los resultados para los tratamientos no fertilizados, se observa que una menor frecuencia de riego mostró una mayor velocidad de aparición de hojas tanto en hojas/día como en hojas/°C día. Esto podría ser explicado por lavado de nutrientes teniendo en cuenta los bajos contenidos de MO y N edáfico en los suelos entisoles de la región semiárida (Veneciano y Terenti, 1997; Peña Zubiato, 1998; Veneciano y Frigerio, 2008), por lo que una cantidad suficiente de nitrógeno edáfico tiene efecto directo sobre la TAH, y cuando no se fertiliza, el riego más frecuente lava en cierto grado el escaso nitrógeno presente y por lo tanto la TAH resultante es menor.

En concordancia con los resultados obtenidos numerosos investigadores encontraron mayores velocidades de aparición foliar (IAH, Fc y TAH) por efecto de la fertilización nitrogenada para diferentes especies gramíneas forrajeras (Da Silva et al. (2012) en *Brachiaria decumbens*; Gomes et al. (2012) en *Brachiaria ruziziensis*; Carvalho Santos et al. (2009) en *Brachiaria brizantha* cv Marandu; Costa et al. (2013) en *Axonopus aureus*; Lavres Jr et al. (2004) en *Panicum máximum*; Garcez Neto et al. (2002) en *Panicum máximum* cv. Mombaça; Oliveira et al. (2007) en *Panicum máximum* cv. Tanzania; Pereira et al. (2011) en *Panicum máximum* cv Mombaça).

4.2.4.3. Vida media foliar (VMF)

La VMF expresada en días y en °C día se presentan en las **Tabla 29** y **Tabla 30**, respectivamente. Se observó una variación según tratamientos entre 38,4 y 56,4 días, y entre 324,6 y 572,1 °C día para el tiempo cronológico y térmico transcurrido entre la aparición de una hoja y el comienzo de su senescencia.

Tabla 29. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según tratamientos.

Tratamientos	n	VMF (días)	DE	EE	CV
ReN0	5	45,03	2,57	1,15	5,71
ReN200	5	38,43	2,79	1,25	7,25
RfN0	5	56,38	7,38	3,3	13,09
RfN200	5	47,61	1,1	0,49	2,32

Tabla 30. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la vida media foliar (VMF) en tiempo térmico según tratamientos.

Tratamiento	n	VMF (°C día)	DE	EE	CV
ReN0	5	405,71	22,74	10,17	5,73
ReN200	5	324,63	44,62	19,96	13,08
RfN0	5	572,05	91,82	41,06	16,05
RfN200	5	365,51	22,01	9,84	6,02

El ANOVA realizado mostró diferencias estadísticas, pero sin efecto de interacción entre los factores ($p > 0,05$) en ambos casos. Teniendo en cuenta que la VMF surge del producto del Fc y el NHV, estos resultados sugieren un efecto de compensación entre ambas variables que afecta la respuesta de la vida foliar por lo que no se detecta una interacción

entre los factores considerados. Además, el agua per se no tiene un efecto marcado en ninguna de las dos variables (Fc y NHV), en cambio, sí lo tiene el nitrógeno.

En cambio, si existieron diferencias significativas para cada uno de los factores por separado tanto cuando se expresó en días como en °C día ($p < 0,05$). La VMF fue significativamente menor (menor longevidad foliar) cuando se realizó un aporte de nitrógeno ($p < 0,05$) (Tabla 31 y Tabla 32).

Tabla 31. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	VMF (días)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 0	10	50,7	7,93	1,55	15,64	A
N200	10	43,02	5,23	1,55	12,17	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 32. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo térmico según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	VMF (°C días)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 0	10	488,88	111,9	19,83	23,1	A
N200	10	345,07	35,58	19,83	10,07	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Al considerar el efecto del riego se observa que Rf tuvo una mayor duración de la VMF ($p < 0,05$), por lo que se prolongó la vida de las hojas cuando el nivel hídrico fue superior (Tabla 33 y Tabla 34).

Tabla 33. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo cronológico según nivel del factor riego.

Riego	n	VMF (días)	DE	EE	CV	Dif. med.
Rf	10	51,99	6,79	1,09	13,06	A
Re	10	41,73	4,30	1,09	10,30	B

En la columna, cifras seguidas de distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 34. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la vida media foliar (VMF) expresada en tiempo térmico según nivel del factor riego.

Riego	n	VMF (°C días)	DE	EE	CV	Dif. med.
Rf	10	468,78	125,75	13,88	26,83	A
Re	10	365,17	44,42	13,88	12,04	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Otros investigadores encontraron efectos similares para la fertilización nitrogenada, con reducciones en la vida de las hojas y adelantamientos en la acumulación de senescencia ((Da Silva et al. (2012) en *Brachiaria decumbens*; Gomes et al. (2012) en *Brachiaria ruziziensis*; Costa et al. (2013) en *Axonopus aureus*; Pereira et al. (2011) en *Panicum maximum* cv Mombaça)). En cuanto al agua, Wolfe et al. (1988) encontraron resultados similares en maíz, donde la senescencia de las hojas se presentó anticipadamente en tratamientos sometidos a restricciones hídricas.

Para digitaria se informan valores similares (444 °C día y 47 días por Privitello et al. (2012) en verano) y más altos (613°C día y 56 días por Rossi et al., 2015a; 690 °C día y 85 días por Privitello et al., 2012 en primavera) de VMF para distintas condiciones ambientales (años y épocas) en la región semiárida. Comparativamente los resultados de digitaria son similares a los de *Eragrostis curvula* (584°C día y 40 a 57 días) excepto para la primavera (222 °C día) donde pasto llorón reportó una menor VMF (Privitello et al., 2012). Falco (2017) informa mayor VMF expresada en tiempo térmico (499 °C día) pero similar expresada en tiempo cronológico (46 días) para pasto llorón en la misma región. En *Panicum coloratum* se estimaron mayores valores que para digitaria (536 a 630°C día; y 60 a 76 días) y mayores aún en *Tetrachne dregei* (729 a 747°C día; 59 a 63 días) en el mismo sitio (Lucero, 2015; Lucero et al., 2015).

4.2.4.4. Tasa de senescencia

4.2.4.4.1. Evolución de la acumulación y la tasa de senescencia foliar del macollo

La evolución de la acumulación de la senescencia foliar del macollo (ACSc) y de la tasa de senescencia foliar calculada (TSc calculada), se presentan en las **Figura 11** y **Figura 12** para los tratamientos fertilizados y no fertilizados, respectivamente (modelos matemáticos en **Tabla 3 del anexo I**). Se pueden diferenciar dos comportamientos en las curvas de regresión según el nivel de nitrógeno aplicado.

En los tratamientos fertilizados (**Figura 11**) la senescencia acumulada presentó incrementos lineales a partir de los 45 a 60 días, después de alcanzar la VMF (ReN200: 38,4 y RfN200: 47,6 ddr). Entre los 100 y 135 ddr los incrementos son decrecientes, posteriormente tienden a estabilizarse con valores máximos de senescencia acumulada al final del ciclo. Las curvas de los tratamientos fertilizados son similares y sólo se observa

como diferencia, que el de mayor frecuencia de riego (RfN200) presentó valores levemente inferiores para la variable.

La TSc resultó mayor para ReN200, lo que indica un retraso y una menor velocidad de acumulación de la senescencia por efecto del riego. Ambos tratamientos alcanzan una tasa máxima de senescencia en hoja bandera (principio de encañazón) a los 75 – 80 ddr.

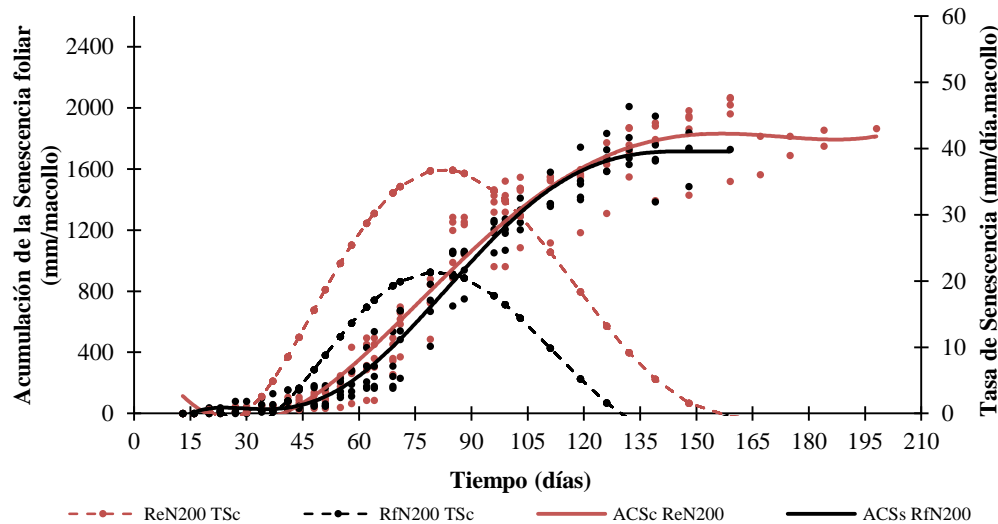


Figura 11. Evolución de la acumulación de la senescencia foliar (ACSc) (mm/macollo) y de la tasa de senescencia (TSc) calculada a través del tiempo (ddr). Tratamientos con fertilización.

Los tratamientos sin fertilizar (**Figura 12**) mostraron un avance más lento y prolongado de la acumulación de la senescencia que con aporte de nitrógeno y agua (RfN200). Ambos mantuvieron una relación de segundo grado para la acumulación, y un progreso de la TSc lineal a través del tiempo. A partir de los 45 ddr y 60 ddr para ReN0 y RfN0 respectivamente, la senescencia comenzó a acumularse notablemente en coincidencia con VMF (ReN0: 45 ddr; RfN0: 56 ddr). ReN0 mostró una mayor TSc al inicio, aunque con menor pendiente. Hacia la mitad del ciclo (antesís) RfN0 comenzó a manifestar mayor TSc por lo que se igualó la ACSc entre los dos tratamientos al final del período. El mayor aporte de agua de riego también retrasó la acumulación de senescencia en los tratamientos no fertilizados, y por eso, ReN0 presentó mayor senescencia foliar acumulada que RfN0 para un momento dado durante el ciclo (exceptuando al inicio y al final, donde los valores se igualaron).

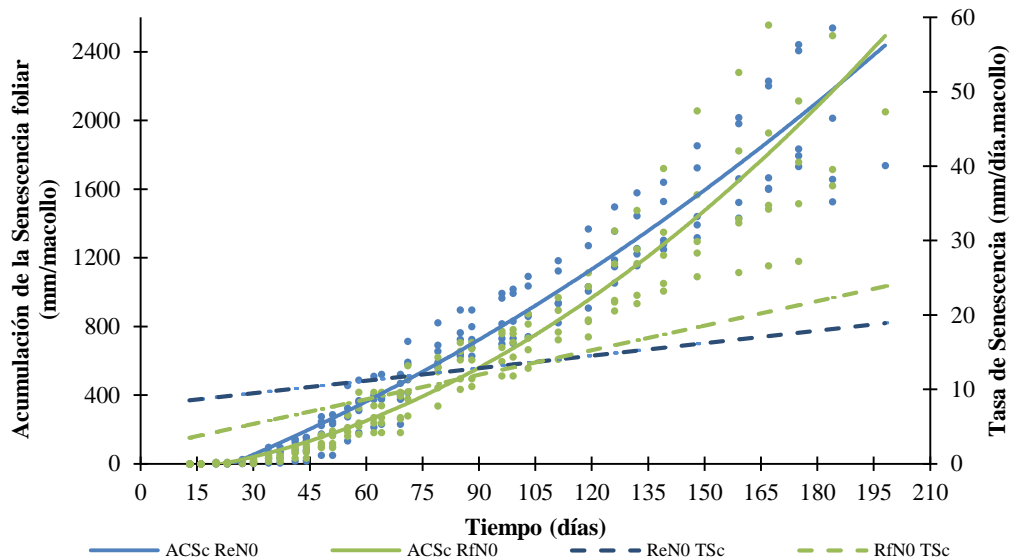


Figura 12. Evolución de la acumulación de la senescencia foliar (ACSc) (mm/macollo) y de la tasa de senescencia (TSc) calculada a través del tiempo (ddr). Tratamientos sin fertilización.

Sin nitrógeno, los macollos acumularon al final del ciclo mayor senescencia foliar pero a menor ritmo o velocidad (mayor VMF y por ende longevidad).

4.2.4.4.2. Tasa máxima de senescencia del macollo (TSc máx)

Durante la realización de los registros de las variables para el ensayo 1, existieron momentos (3 días no consecutivos) de alta demanda ambiental. En dichos momentos se detectó un importante avance de la senescencia (en varias hojas por macollo) así como también disminuciones en la longitud foliar (ver fotos en **anexo II**). Es por eso que se decidió determinar la tasa de senescencia en dichas ocasiones para esclarecer el efecto del agua sobre la senescencia, a la vez que se buscó dilucidar el rol de la fertilización en momentos de restricciones hídricas, en plantas ubicadas en macetas.

Los valores más altos de senescencia ocurrieron en diferentes momentos para los distintos macollos. Las Tsc máx de los macollos estudiados ocurrieron más frecuentemente en las siguientes fechas: 26/11/15; 10/12/15 y 20/01/16. Estas fechas coinciden con momentos de menores precipitaciones, y en el caso particular de diciembre y enero, se corresponde con períodos de altas temperaturas (máximas de 30 a 35 °C). En ese momento, para el mes de enero, ocurría el mayor período sin precipitaciones de todo el ciclo (7 días sin lluvias).

La Tsc máx de dichos períodos varió entre $64,38 \pm 22,61$ y $126,04 \pm 68,1$ mm/día.macollo, según los tratamientos (**Tabla 35**). Estos valores fueron considerablemente

mayores a los obtenidos por la derivada de la acumulación de senescencia, lo que indica un progreso más marcado del envejecimiento foliar por efecto de restricciones hídricas. De manera preliminar, se observa una marcada tendencia de Tsc máx más altas para los tratamientos fertilizados, y además RfN200 presentó una alta variabilidad (DE, EE y CV).

Tabla 35. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la tasa de senescencia máxima (Tsc Máx) según tratamientos.

Tratamientos	n	TSc máx (mm/día.macollo)	DE	EE	CV
ReN0	5	80,5	22,61	10,11	28,09
ReN200	5	113,26	20,05	8,97	17,7
RfN0	5	64,38	12,63	5,65	19,62
RfN200	5	126,04	68,1	30,46	54,03

Al considerar todos los macollos, el ANOVA realizado muestra que hubieron diferencias estadísticas asociadas al factor de fertilización ($p < 0,05$), no así con riego ni con interacción de factores ($p > 0,05$). Sin considerar el régimen hídrico, los tratamientos fertilizados mostraron mayores TSc máx que los testigos (**Tabla 36**). Los datos presentados muestran una importante variación reflejada en los valores de las medidas de dispersión (DE, EE y CV). Igualmente, la tasa muestra una diferencia de 5 centímetros diarios (47,21 mm/día) a favor de N200.

Tabla 36. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la tasa de senescencia máxima (Tsc Máx) según fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	TSc máx (mm/día.macollo)	DE	EE	CV	Dif. med.
N200	30	119,65	57,3	7,3	47,89	A
N0	30	72,44	27,83	7,3	38,42	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Estos resultados indican que las velocidades en el avance de la senescencia foliar en momentos de limitaciones hídricas son mayores cuando existe un aporte elevado de nitrógeno edáfico por fertilización, dado el mayor porte de la planta. Wolfe et al. (1988) encontraron en maíz resultados similares, donde la senescencia avanzó más rápidamente en tratamientos fertilizados con nitrógeno (180 kg N/ha) y sometidos a estrés hídrico. Además, otros autores mencionan una reducción de la tasa de macollaje, del número de hojas vivas por macollo, y un paralelo incremento de los procesos de senescencia de hojas y macollos (Turner y Begg, 1978 mencionado por Agnusdei, 1994). Inversamente a lo que ocurre con la parte aérea, el crecimiento radical se incrementa en proporción a aquella (Gales, 1979

mencionado por Agnusdei, 1994). Saenz et al. (2013) encontraron que durante períodos de sequía los procesos de senescencia foliar comenzaron anticipadamente aún en hojas en expansión tanto para *Digitaria californica* como para *Piptochaetium napostaense* en plantas ubicadas en la región semiárida central de la Argentina (estación experimental de la Universidad de La Pampa).

4.2.5. Variables estructurales

4.2.5.1. Hojas Totales y fenología de los macollos

4.2.5.1.1. Hojas desarrolladas durante el ciclo de crecimiento

Los macollos identificados desarrollaron en promedio entre 9 y 12 hojas para los distintos tratamientos durante el ciclo de crecimiento (desde octubre hasta abril). Resultados similares se encontraron durante la temporada 2013 – 2014 con 827 mm de precipitaciones (año de estudio: 791 mm), en parcelas experimentales de digitaria, donde se alcanzaron $8,82 \pm 1,17$ hojas, con máximos de 11 hojas (Rossi et al., 2015a). Al comparar con otras especies gramíneas megatérmicas forrajeras de la región, digitaria fue superior a lo encontrado por Lucero et al. (2015) para el ciclo de crecimiento 2013 – 2014 en *Tetrachne dregei* ($8 \pm 1,4$ hojas/macollo) y similar a *Panicum coloratum* ($10 \pm 1,2$ hojas/macollo); y similar a lo encontrado por Falco (2017) en *Eragrostis curvula* (9 a 13 hojas/macollo) para la temporada 2016 – 2017.

Los macollos que no recibieron fertilización nitrogenada (ReN0 y RfN0) presentaron los valores más altos de acumulación foliar (con una mayor variabilidad), aunque no se diferenciaron ($p=0,1624$) (Tabla 37).

Tabla 37. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para Número total de hojas (NHT) desarrolladas durante el ciclo de crecimiento según tratamiento.

Tratamiento	n	NHT	DE	EE	CV	Min	Max
ReN0	5	12,53	1,98	0,89	15,80	10	14,67
ReN200	5	9,2	0,65	0,29	7,06	8,33	10,0
RfN0	5	10,87	2,8	1,25	25,81	8,33	15,33
RfN200	5	9,67	0,71	0,32	7,31	8,67	10,33

Sin embargo, existió una moderada correlación negativa del número final de hojas con la fertilización nitrogenada que respalda los cambios en el NHT por efecto del nitrógeno

($p < 0,05$) (**Tabla 38**). En congruencia con estos resultados, Da Silva et al. (2012) encontraron que *Brachiaria decumbens* en el centro oeste de Brasil, desarrolla dos hojas menos (Fertilizado: 8,13 hojas vs No fertilizado: 10,40 hojas) al recibir fertilización nitrogenada (100 vs 0 Kg/ha). En correspondencia a lo determinado por estos autores, en digitaria los valores promedio de los fertilizados fueron de 9,44 vs los no fertilizados de 11,7 hojas.

Tabla 38. Coeficientes de correlación de Pearson y su p-valor entre el número de hojas totales versus la fertilización.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Hojas Totales	Hojas Totales	20	1,00	<0,0001
Hojas Totales	Fertilización	20	-0,55	0,01

Se analizó la posibilidad de realizar modelos de regresión múltiple considerando el tiempo térmico y el agua total recibida para cada tratamiento, pero debido al bajo grado de significancia de modelos y variables ($p > 0,05$) y dado que se presentó colinealidad entre las variables independientes (TT y agua), los análisis de resultados se hicieron sobre modelos de regresión simple.

En la **Figura 13** se puede apreciar la evolución de la acumulación de hojas a través del tiempo para los diferentes tratamientos (en **Tabla 4 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos y los coeficientes). Las plantas fertilizadas alcanzaron abruptamente el número final de hojas durante el ciclo (alrededor de las 10 hojas par RfN200 y de 9,5 para ReN200) entre mediados y finales de diciembre (85 a 100 ddr respectivamente). Luego se produce una meseta, a partir de la cual, el número total de hojas se estabiliza. Además, puede apreciarse que RfN200 presenta mayor pendiente y alcanza valores más altos que ReN200. Esta diferencia podría atribuirse a la mayor disponibilidad de agua para RfN200.

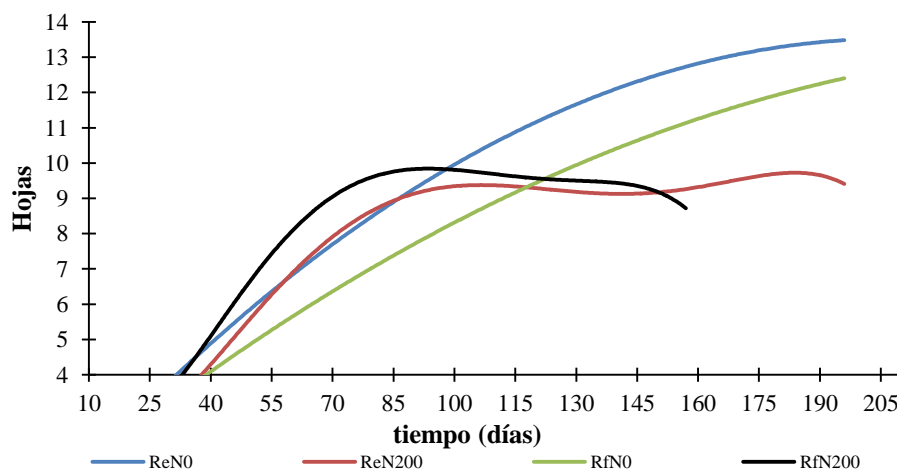


Figura 13. Velocidad de acumulación de hojas por macollo (NHT) desde el rebrote primaveral.

Por el contrario, los tratamientos no fertilizados (testigos) evolucionan de manera más prolongada. Mientras que ReN0 llega a las 13 hojas, RfN0 sobrepasa la hoja número 12 hacia el final de las mediciones (**Figura 13**).

El crecimiento foliar se encuentra ligado a la temperatura. Por eso al relacionar la acumulación de hojas durante el ciclo de crecimiento de esta especie megatérmica con el tiempo térmico se observa cómo aumenta el número de hojas con la acumulación térmica para cada tratamiento (**Figura 14** ; en **Tabla 5 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos y los coeficientes). En *Panicum coloratum* cv Verde cultivado en La Pampa Ferri et al. (2006) obtuvo curvas semejantes que relacionan la acumulación de hojas y el tiempo térmico en un ciclo de crecimiento. Posteriormente, Ferri et al. (2008), durante tres ciclos consecutivos, determinaron modelos curvilíneos y lineales que explican el efecto del TT en la generación foliar, según sea el ciclo. Lucero (2016) describe relaciones directas entre la acumulación foliar y TT para *Eragrostis curvula*, con y sin fertilización nitrogenada, y para *Tetrachne dregei* sin fertilizar.

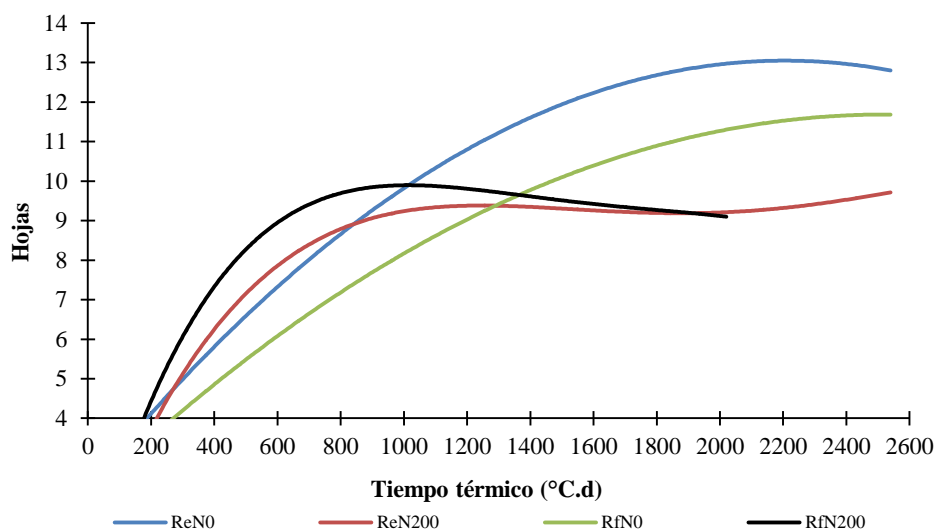


Figura 14. Velocidad de acumulación de hojas de los macollos (NHT) según el tiempo térmico transcurrido.

Aquellas plantas que recibieron subsidio de nitrógeno desarrollaron todas sus hojas con menor acumulación de tiempo térmico, RfN200 se acerca a las 10 hojas al acumular alrededor de 800 °C día, ReN200 llega a las 9,5 hojas con 1000 °C día. La pendiente de las curvas obtenidas representan las velocidades en días (**Figura 13**) y en °C día (**Figura 14**) con la que aparecen las hojas en diferentes momentos del ciclo. Cuando se analizó el filocrono como un valor promedio (obtenido entre la 3° y 7° hoja), no hubo diferencias en la velocidad con la que aparecen las hojas por efecto de la frecuencia de riego. Sin embargo,

al analizar la acumulación foliar más detalladamente a través del tiempo cronológico y térmico, se observa en las curvas de regresión que RfN200 evoluciona con una mayor tasa que ReN200, lo que implica que la disponibilidad de agua afectó en cierto grado la acumulación foliar y la velocidad con la que se suceden las hojas en relación a la temperatura y los días. Además, esta observación denota la sensibilidad de algunas características morfogénicas a las variaciones ambientales. Ferri et al. (2008) encontraron resultados variables para *Panicum coloratum* en un estudio de tres años, y asociaron las diferencias estructurales y morfogénicas encontradas a la variabilidad ambiental, principalmente a las diferencias interanuales de precipitaciones. Castro Salas et al. (2013) encontraron diferencias en la dinámica de crecimiento de pasto mulato II (*Brachiaria híbrido* cv. Mulato II) al estudiar el flujo de tejidos (TEF, TAH, TE de tallo, senescencia) en períodos acotados según épocas de lluvia o sequía, recomendando para dicha especie mayor frecuencia de pastoreo para épocas lluviosas por la mayor tasa de crecimiento y desarrollo foliar y acumulación de biomasa, que para las de sequía (21 vs 42 días).

Los tratamientos sin fertilización expandieron sus hojas más lentamente y posteriormente alcanzan una meseta con ST de 2000 °C día para ReN0 cuando aparece a la hoja 13, y a los 2300 °C día para RfN0 alcanzando la número 12. Al analizar la acumulación foliar (**Figura 13** y **Figura 14**), en coincidencia con los resultados encontrados de filocrono, IAH y TAH, se observa que ReN0 despliega sus hojas más rápidamente que RfN0. Posiblemente esta diferencia pueda atribuirse al lavado del nitrógeno por exceso de agua.

4.2.5.1.2. Hojas totales y su relación con la fenología de los macollos

La mayoría de los macollos marcados e identificados en las plantas fertilizadas alcanzaron etapas reproductivas (sólo un macollo de N200 quedó vegetativo y se secó a mediados de enero – ver fotos en **anexo II**). Por el contrario, los tratamientos sin fertilización mantuvieron mayores porcentajes de macollos en estado vegetativo (**Tabla 39**). Ferri (2010) reportó resultados similares con mayor proporción de macollos reproductivos por efecto de la fertilización en *Panicum coloratum*.

Tabla 39. Porcentaje de la fenología alcanzada durante todo el ciclo para los macollos identificados diferenciados según tratamiento.

Tratamiento	% macollos vegetativos	% macollos reproductivos
ReN0	66,7%	33,3%
ReN200	0%	100%
RfN0	73,3%	26,7%
RfN200	6,7%	93,3%

Al final del ciclo, los macollos que lograron diferenciarse y alcanzar etapas reproductivas, presentaron un menor número de hojas totales (**Figura 15 a y b**). Al considerar el factor nitrógeno y fenología de la planta, se registró un mayor número de hojas totales en N0 - V (**Figura 16**).

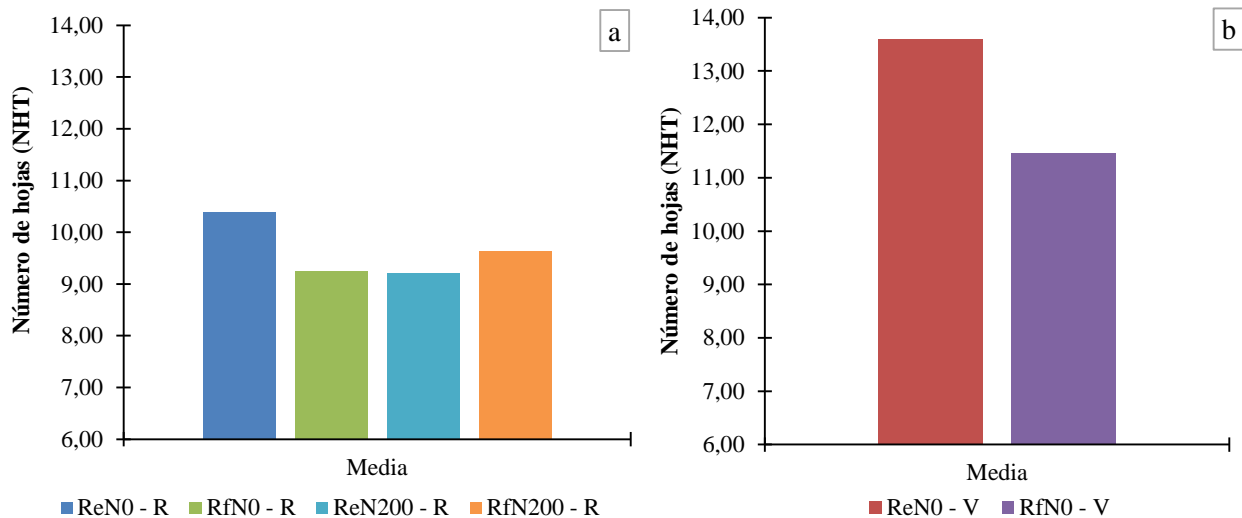


Figura 15. Número total de hojas según tratamiento y fenología final alcanzada.

Estado reproductivo (a); Estado vegetativo (b). Tratamientos seguidos de la letra “R” alcanzan etapas reproductivas en algún momento. Tratamientos seguidos de la letra “V” no llegan a diferenciarse.

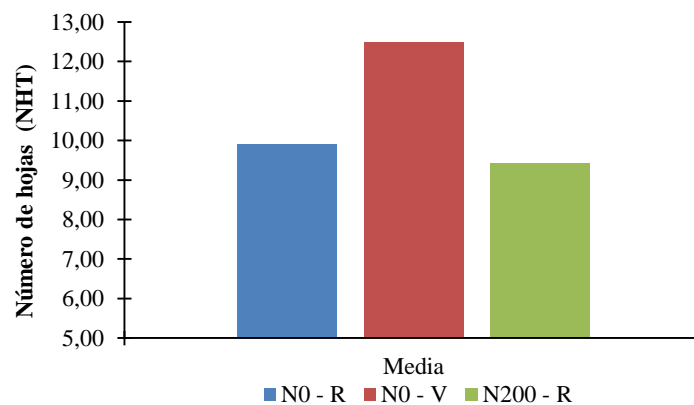


Figura 16. Número total de hojas según fertilización y fenología final alcanzada.

Tratamientos seguidos de la letra “R” alcanzan etapas reproductivas en algún momento. Tratamientos seguidos de la letra “V” no llegan a diferenciarse.

Existió una correlación negativa ($p < 0,05$) entre el número de hojas totales y el número de tallos florales (**Tabla 40**). Las plantas fertilizadas lograron mayor cantidad de macollos reproductivos, desarrollando un menor número de hojas totales al final del ciclo. De esta manera, el nivel de nitrógeno edáfico modificó el estado fenológico alcanzado por el macollo y consecuentemente, el número final de hojas totales desarrolladas y tallos florales producidos.

Tabla 40. Coeficientes de correlación de Pearson y su p-valor entre el número de hojas totales y el número de tallos florales.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Hojas Totales	Hojas Totales	20	1,00	<0,0001
Hojas Totales	Tallos florales	20	-0,57	0,0092

En síntesis, existió un efecto indirecto del agregado de nitrógeno sobre el número total de hojas. Cuando el nitrógeno del suelo se presentó como un factor limitante, la planta dispuso de menos recursos para la reproducción. Mientras que la fertilización nitrogenada aumentó la cantidad de macollos reproductivos por planta (79 tallos florales/planta en los fertilizados vs 9 tallos florales/planta para N0) y aceleró el crecimiento, por lo que se acortó la duración del período de acumulación foliar, y con ello se adelantó la ocurrencia de las etapas fenológicas reproductivas. Los individuos que prolongaron su etapa vegetativa, lograron activar un mayor número de primordios foliares a nivel meristemático. Los que alcanzaron la etapa reproductiva dejaron de formar nuevos primordios foliares por lo que el número final de hojas fue menor y quedó definido con anterioridad.

4.2.5.2. Número de hojas vivas (NHV)

La sincronía que existe entre la generación y la senescencia de las hojas, hace que se alcance un número máximo y relativamente fijo de hojas vivas en cada macollo. Se contabilizó el número de hojas vivas (sin indicios de senescencia) en cada una de las mediciones realizadas durante el ciclo de crecimiento, y se determinó para cada tratamiento el número máximo de hojas verdes por macollo (NHV). El número de hojas totales (NHT) permitió analizar la capacidad generativa de hojas durante el ciclo, mientras que el NHV ayudó a entender el recambio foliar donde la velocidad de aparición de hojas y el inicio de la senescencia (VMF) definen esta variable.

Al considerar todos los tratamientos, el promedio del número máximo de hojas vivas por macollo en cada observación varió entre 3,80 y 5,27 durante el ciclo de crecimiento (**Tabla 41**).

Tabla 41. Media, desviación estándar, error estándar y diferencia de medias por test LSD para el número de hojas vivas (NHV) por macollo.

Tratamiento	NHV	DE	EE	Dif. de medias
RfN200	5,27	0,80	0,36	A
RfN0	3,80	0,84	0,37	B
ReN0	4,13	0,36	0,16	B
ReN200	4,40	0,37	0,16	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Para la temporada 2013-2014 se encontró que el valor promedio medido en parcelas experimentales fue de $4\pm 0,45$ hojas verdes/macollo para la misma especie en el mismo sitio de estudio (Rossi et al., 2015a). Privitello et al. (2012) informaron un valor de 5 ± 1 HV/macollo para *Digitaria eriantha*, *Eragrostis curvula* y *Panicum coloratum* en una temporada de crecimiento, tanto en primavera como en verano. Bacha et al. (2011) reportaron resultados similares en *P. coloratum* durante la primavera de 2010 ($4,9\pm 0,9$ HV/macollo). En cambio, en el mismo sitio de estudio para la temporada 2013-2014, Lucero et al. (2015) determinaron un valor de $4\pm 0,83$ HV/macollo en *P. coloratum*, y además, para la especie *Tetrachne dreguei* comunicaron un resultado de $3\pm 0,5$ HV/macollo. Lucero (2016) informa para la misma especie durante 3 ciclos consecutivos, que el NHV oscila entre 2 y $3\pm 0,3$ HV/macollo. Falco (2017) registró 4 ± 1 HV/macollo en *Eragrostis curvula* y $4\pm 0,8$ HV/macollo en *Chloris gayana* (macollos con y sin estolón) para la temporada 2016/2017. Los resultados obtenidos en esta tesis y por los autores citados muestran variabilidad para el NHV para diferentes especies gramíneas megatérmicas, en respuesta al efecto de cambios en diferentes variables ambientales.

Los resultados muestran que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0486$). Además, existió interacción entre los factores de estudio ($p = 0,0336$). Los valores más altos para el número de hojas vivas por macollo se presentaron en RfN200, mientras que el resto de los tratamientos no se diferenciaron estadísticamente (**Tabla 41**). Costa et al. (2013) reportaron aumentos en el número de hojas verdes por macollo cuando se fertilizó *Axonopus aureus*, logrando valores máximos de NHV al fertilizar con 185,5 kg de N/ha. Respuestas similares en el número de hojas verdes frente a la fertilización nitrogenada se han reportado por otros autores (Garcez Neto et al. (2002) y Pereira et al. (2011) en *Panicum máximum* cv. Mombaça; Oliveira et al. (2007) en *Panicum máximum* cv. Tanzania; Da Silva et al., (2012) en *Brachiaria decumbens*). Lucero (2016) informa para pasto llorón con fertilización nitrogenada (equivalente a 200 kg N/ha por maceta) y sin fertilizar, 4 ± 1 y 3 ± 1 HV/macollo respectivamente.

Al analizar la interacción entre los factores en estudio, se observa en la **Figura 17** que la aplicación de fertilizante nitrogenado no genera una variación importante en el número máximo de hojas vivas cuando existe una restricción hídrica (ReN0 vs ReN200). Por el contrario, cuando las plantas se encuentran sometidas a niveles hídricos elevados (Rf), el subsidio de nitrógeno edáfico (RfN0 vs RfN200) en acción sinérgica con el recurso hídrico aumentó significativamente el número máximo de hojas vivas por macollo (**Figura 17**).

Cuando se consideraron los tratamientos sin fertilización y diferente nivel de riego (RfN0 vs ReN0), no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) y sólo se detectó una leve tendencia a favor de Re. En cambio, cuando se fertiliza (RfN200 vs ReN200), existen diferencias estadísticas a favor de Rf (**Figura 17**).

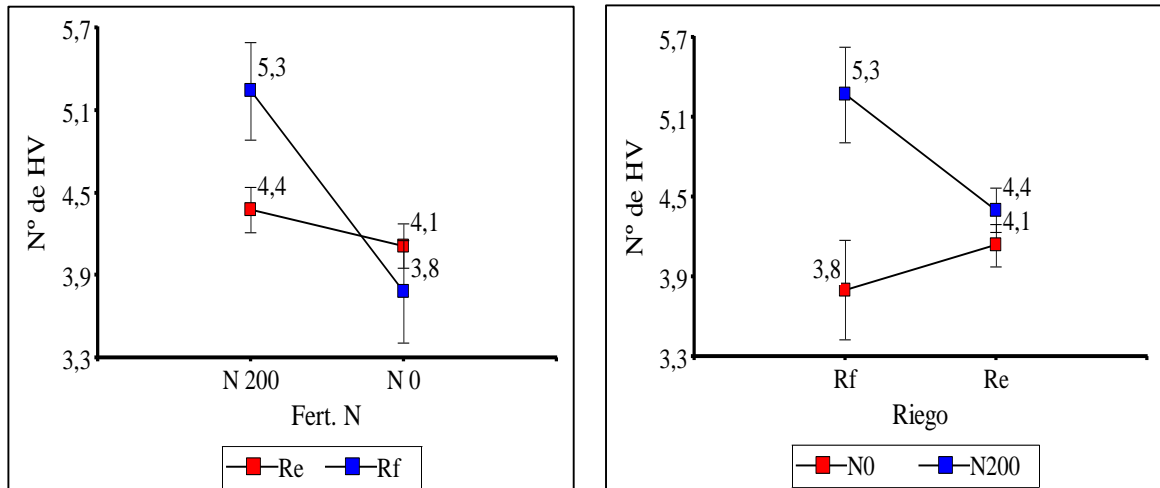


Figura 17. Media \pm error estándar del número máximo de hojas vivas en macollos de *Digitaria eriantha* para cada combinación de niveles de los factores riego y fertilización nitrogenada. (a) Gráfico de puntos; (b) Grafico de barras.

El NHV fue de $5,27 \pm 0,8$ hojas/macollo cuando existió una combinación de agua y fertilización nitrogenada en niveles elevados (RfN200). Por el contrario, el promedio de los restantes tratamientos para el NHV fue de $4,11 \pm 0,58$ hojas/macollo. Estos resultados muestran que para que se manifieste el efecto del nitrógeno en el NHV es necesario tener en cuenta la disponibilidad de agua dada la interacción que se manifiesta entre los factores estudiados sobre la variable.

El efecto combinado que se observó en NHV es el resultado de las modificaciones que produjeron la fertilización y el riego en las variables morfogénicas. Por un lado la fertilización aumentó la velocidad de la aparición de las hojas, y por otro, el mayor aporte del agua, generó una mayor duración en la vida foliar y un retraso en el inicio de la senescencia que permitieron el mayor NHV para RfN200.

El número de hojas verdes observadas por macollo (NHV) resultó variable durante el ciclo de crecimiento de la especie. Aumentó desde el rebrote primaveral, hasta alcanzar un valor que se mantuvo durante cierto tiempo, para luego decaer al avanzar el ciclo del cultivo. A los 20 días después del rebrote primaveral los 4 tratamientos presentaron entre 2 y 2,5 hojas visibles (**Figura 18** y **Figura 19**).

Los tratamientos ReN0 y RfN0, alcanzaron una meseta alrededor de los 50 ddr y 400 °C día con valores entre 3 y 3,5 HV/macollo hasta los 90 – 100 ddr y 900 °C día. A partir de

allí el número de hojas verdes comenzó a disminuir (**Figura 18**). Entre el inicio y el pico de la curva, ya se alcanzó la VMF de la primera generación de hojas de los tratamientos considerados (ReN0: 45 ddr y 405°C día; RfN0: 56 ddr y 572 °C día). En ambas figuras, se observa una importante dispersión en los datos obtenidos, que generaron una variabilidad que repercute en los coeficientes de determinación.

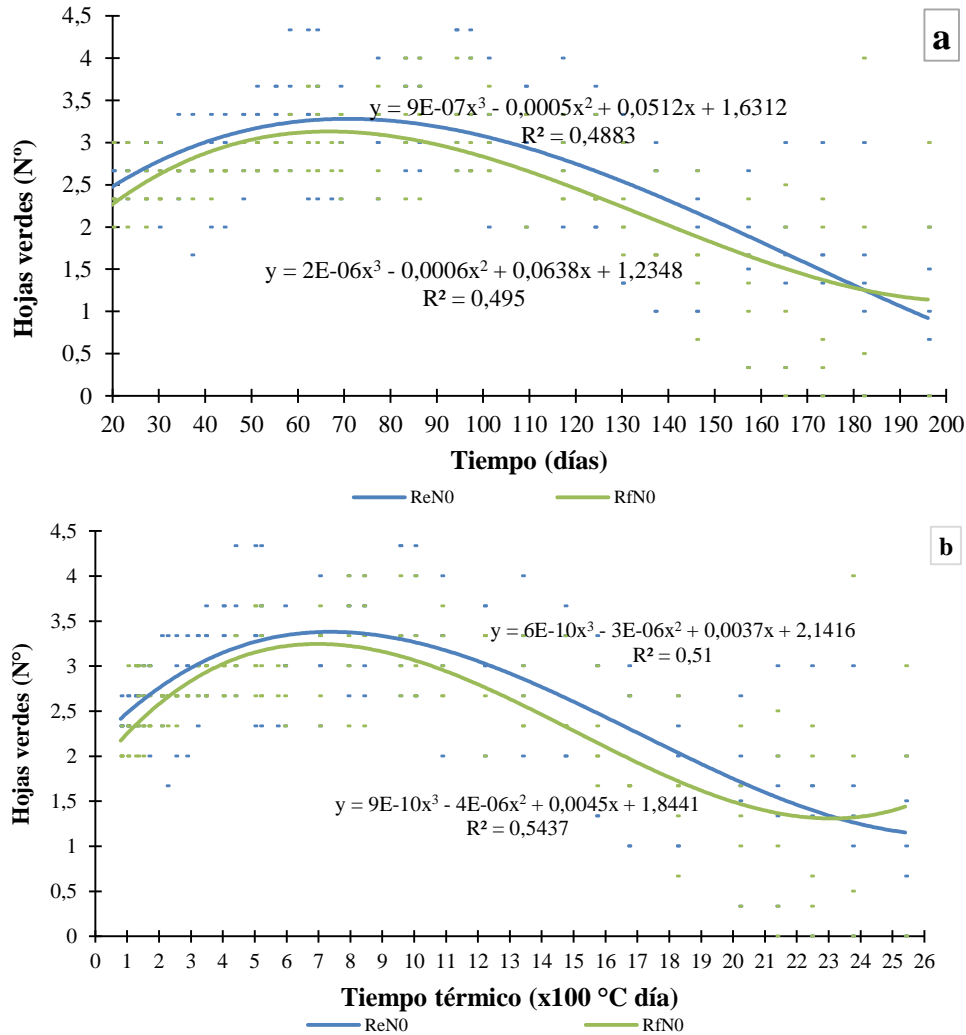


Figura 18. Regresiones lineales del número de hojas verdes o vivas por macollo, según el tiempo transcurrido en días desde el rebrote (**a**) y según el tiempo térmico (**b**), para tratamientos sin fertilización con dos niveles de riego.

Los tratamientos con fertilización mantuvieron un comportamiento diferente (ReN200 y RfN200) (**Figura 19**). Ambos describieron curvas con mayores pendientes hasta llegar al máximo NHV ubicado entre los 45-75 ddr y 350 a 650 °C día. El inicio de dicho rango coincide con los promedios de VMF calculados para cada tratamiento (RfN200: 48 ddr y 365 °C día; ReN200: 38 ddr y 324 °C día). Con fertilización nitrogenada los promedios de VMF calculados coinciden con el punto de inflexión de las curvas acusando una mayor TAH (menor Fc) que los sin fertilizar. Esta aceleración en la aparición foliar se compensa

con el mayor NHV en RfN200 (5 HV/macollo) y permite reducir la VMF respecto de los tratamientos sin fertilizar. En ReN200 la VMF también se acorta, dado que el NHV (4 HV/macollo) es menor que en RfN200 y similar a los no fertilizados pero con menor Fc que estos últimos.

Luego, ambos comienzan su descenso abrupto después de los 75 ddr y 650 °C día, momento en el que la planta se encuentra en etapa de elongación. Dado que los tratamientos fertilizados adelantaron sus fenofases y acumularon menor cantidad de hojas durante el ciclo, al comenzar las etapas reproductivas no se registró la aparición de nuevas hojas para remplazo de las que comenzaron a senescer, por lo tanto, el NHV máximo se mantuvo durante menos tiempo y su descenso ocurrió con anterioridad que en los tratamientos no fertilizados.

A diferencia de lo observado para los tratamientos sin fertilización, los resultados acusan diferencias para las dos frecuencias de riego utilizadas, donde RfN200 alcanza valores más altos de NHV.

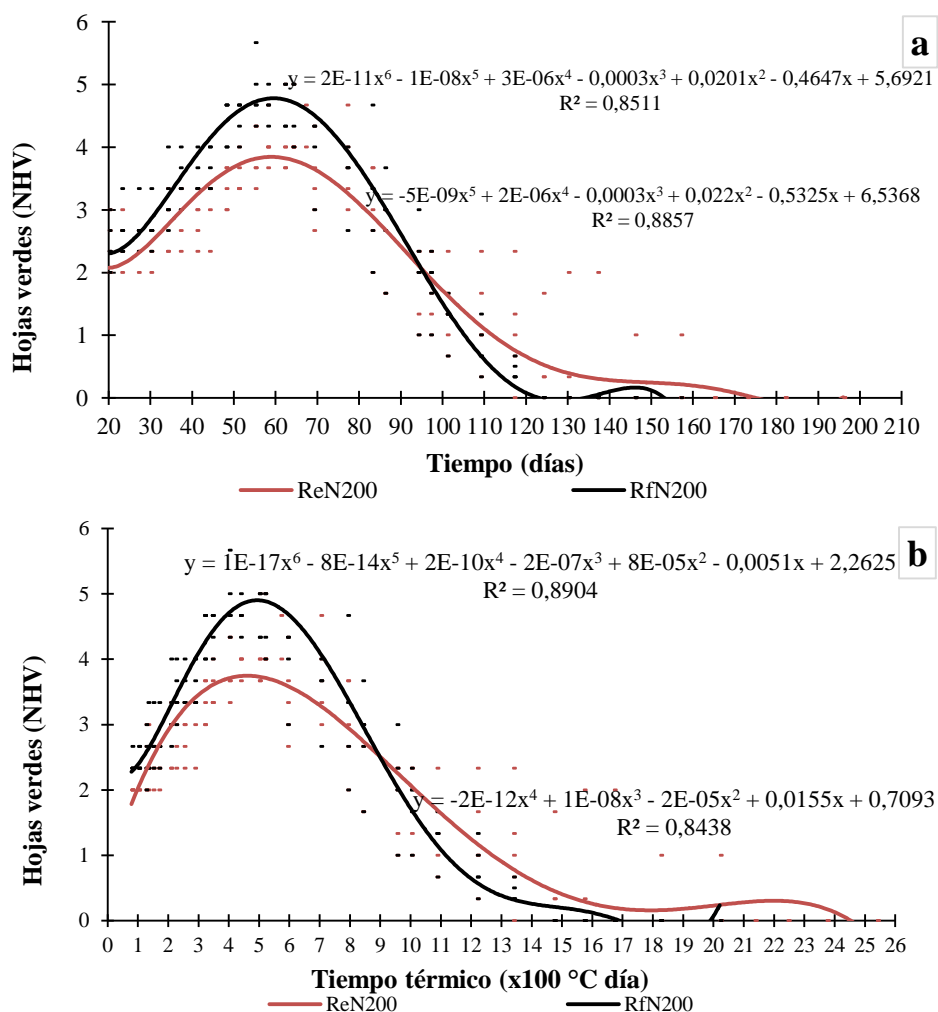


Figura 19. Regresiones lineales del número de hojas verdes por macollo, según el tiempo en días desde el rebrote (a) y según el tiempo térmico (b), para tratamientos fertilizados.

4.2.5.3. Longitud de lámina foliar (LLF)

4.2.5.3.1. Longitud de lámina foliar máxima (LLFM)

Los macollos de los tratamientos con fertilización alcanzaron la máxima LLFM entre la 6° y 7° hoja con valores entre los 267 ± 24 mm en ReN200 y $246,3\pm 33,9$ mm en RfN200 (macollos y plantas en estado reproductivo) para luego comenzar a descender (**Figura 20**). Comportamientos similares fueron encontrados por Ferri et al. (2008) en *Panicum coloratum* cv Verde, en un estudio a campo sin fertilización realizado en La Pampa, llevado adelante durante tres años, donde la máxima longitud se alcanza en la sexta, octava y novena hoja, según la temporada considerada.

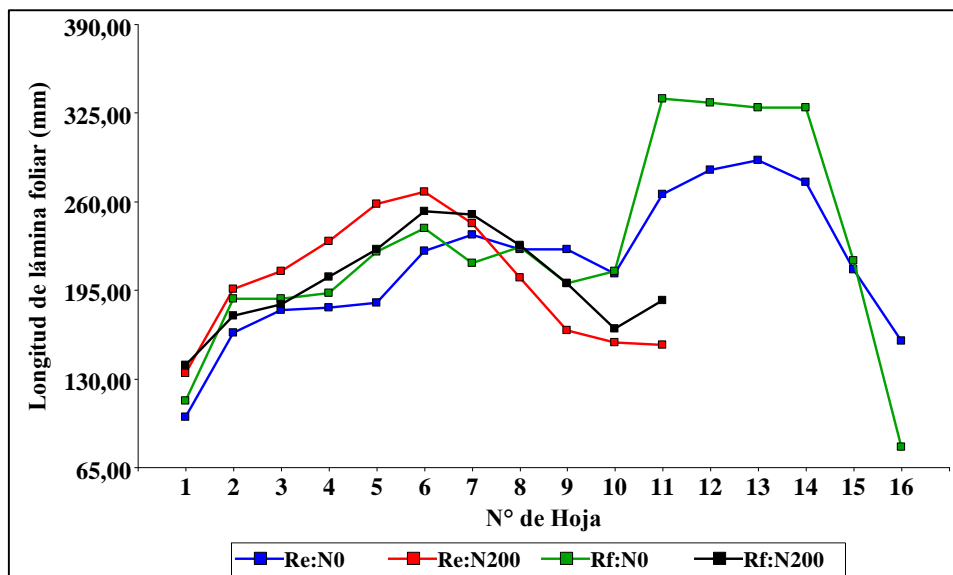


Figura 20. Longitud de las diferentes láminas foliares en milímetros, según tratamientos aplicados.

Los macollos de las plantas no fertilizadas presentan un comportamiento bimodal, con una primera meseta alrededor de la 6° y 7° hoja, con valores máximos de $240\pm 21,9$ mm en RfN0 y $235,7\pm 40,3$ mm en ReN0, macollos en estado vegetativo y planta en reproductivo (**Figura 20**). Una segunda meseta se inició entre la 11° hasta la 13° hoja en que LLFM osciló desde $265,2\pm 44,1$ mm a $290,0\pm 95,6$ mm en ReN0 y de $335,6\pm 67,1$ mm a $328,9\pm 93,7$ mm en RfN0. A partir de la hoja 11° en las plantas no fertilizadas, se observó una reducción en el ancho foliar y un aumento del largo con plantas de menor porte (ver fotos en **anexo II**). Este comportamiento durante la segunda parte de la curva de los tratamientos no fertilizados, a partir de los 100 – 130 ddr, ReN0 y RfN0, respectivamente, podría estar asociado a un

estrés nutricional por déficit de nitrógeno y agravado por el riego frecuente, considerando además un efecto adicional provocado por estar las plantas ubicadas en macetas.

En la **Figura 21** se puede analizar separadamente el efecto del riego y de la fertilización sobre la longitud de la lámina foliar. Entre la 1° y la 7° hoja los tratamientos fertilizados mantienen valores superiores (**Figura 21 a**). A partir de la 10° lámina foliar (fin de diciembre – enero), la longitud es mayor para los tratamientos no fertilizados. En la **Figura 21 b** se observa que las longitudes foliares no difieren cuando se comparan las dos frecuencias de riego.

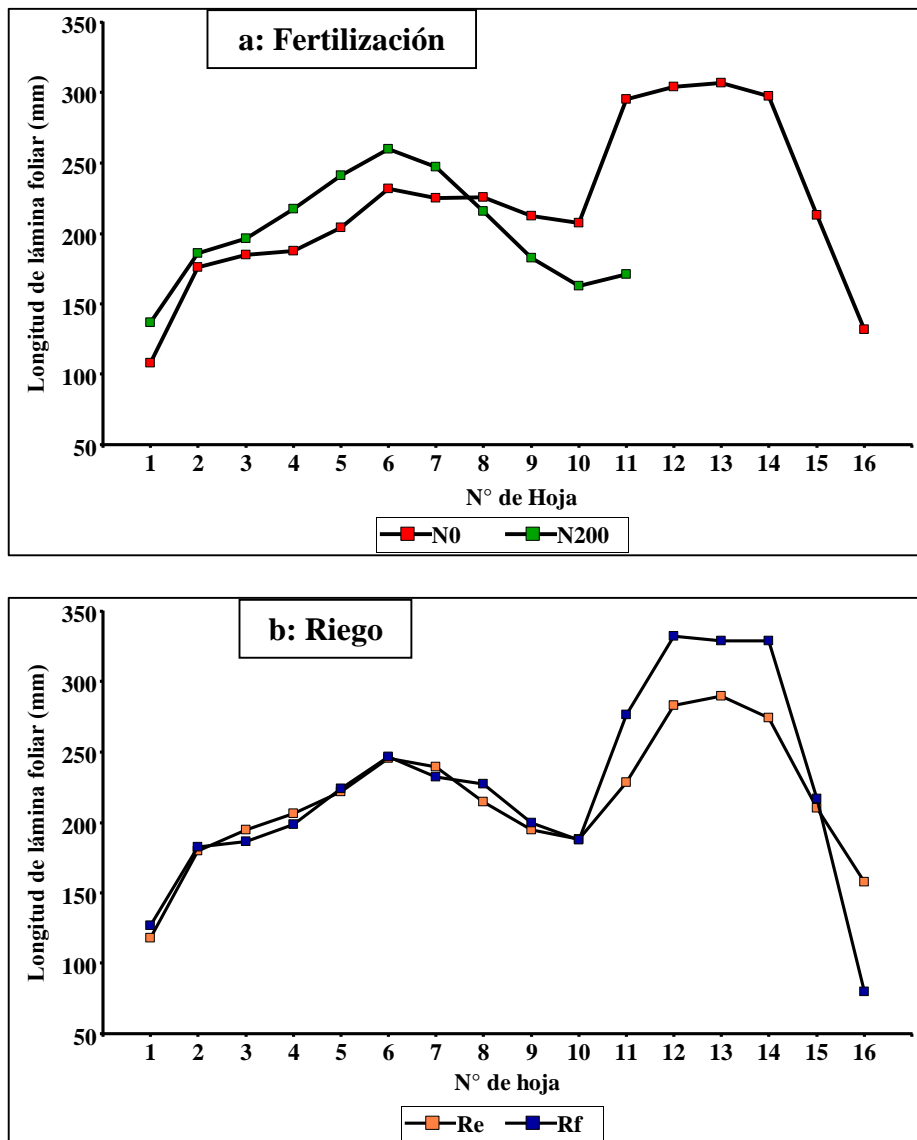


Figura 21. Perfil de la longitud de las diferentes láminas foliares en milímetros, según niveles de fertilización (**a**) y según niveles de riego (**b**). Datos a partir de los 60 macollos evaluados.

4.2.5.3.2. Longitud foliar del macollo (LLFm)

La sumatoria de las longitudes de las láminas foliares del macollo es un indicio del crecimiento foliar de todo el macollo en un determinado momento y resulta útil para realizar comparaciones entre tratamientos.

Al considerar los primeros 100 ddr, se encontró que existieron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p < 0,05$) para la LLFm. El ANOVA reveló que existió interacción entre los factores de estudio (fertilización x riego). En la **Tabla 42** se observa que RfN200 fue superior al resto de los tratamientos. ReN0 y RfN0 no presentaron diferencias estadísticas entre ellos ($p > 0,05$) y tuvieron las menores LLFm máx durante la primavera. ReN200 presentó un comportamiento intermedio, siendo menor a RfN200 ($p < 0,05$) y mayor a los no fertilizados ($p < 0,05$). En relación a estos resultados, muchos autores han encontrado que la longitud foliar de diferentes especies gramíneas, responde positivamente a la fertilización nitrogenada (Costa et al., 2013; Da Silva et al., 2012; Garcez Neto et al., 2002; Gomes et al., 2012; Oliveira et al., 2007). En cuanto al efecto del agua, Castro Salas et al. (2013) encontraron mayor crecimiento foliar de pasto mulato II (*Brachiaria híbrido* cv. Mulato II) en períodos de lluvia que de sequía en México. En este estudio, RfN0 manifestó similar extensión foliar de macollo que ReN0, por lo que se deduce que el contenido de nitrógeno edáfico fue el factor que limitó en crecimiento foliar.

Tabla 42. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para para la longitud de lámina foliar máxima (LLFm máx) durante los primeros 100 ddr según tratamientos.

Tratamiento	n	LLFm máx (mm/macollo)	DE	EE	CV	Dif. med.
RfN200	5	1331,67	130,91	50,38	9,83	A
ReN200	5	1150,67	36,05	50,38	3,13	B
ReN0	5	879,67	130,42	50,38	14,83	C
RfN0	5	830,67	184,59	50,38	22,22	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

La combinación de alta fertilización y aporte de agua generaron los mayores crecimientos en longitud foliar durante la primavera. La LLFm se deprimió en los macollos fertilizados cuando el aporte de agua fue menor (RfN200 vs ReN200). Cuando no hubo fertilización nitrogenada, el aporte diferencial de riego no generó cambios en la LLFm máx.

A continuación se presentan modelos curvilíneos que permiten describir el comportamiento de la LLFm a través del tiempo (en **Tabla 6** y **Tabla 7 del anexo I** se

encuentran los ajustes matemáticos y los coeficientes). Los tratamientos fertilizados (ReN200 y RfN200) presentaron un comportamiento similar en la acumulación de longitud foliar del modelo (**Figura 22 a y b**). En ambos casos, LLFm va en aumento hasta alcanzar un máximo a partir del cual comienza a descender.

Los tratamientos que no recibieron fertilización tuvieron un comportamiento diferente a los anteriores, y similares entre ellos. Ambas curvas muestran un aumento retardado y prolongado de LLFm a través del tiempo cronológico y térmico, alcanzando valores máximos alrededor de los 900 mm a partir de los 110 ddr con 1400°C día, para luego decaer. Los modelos de regresión para los tratamientos no fertilizados presentaron bajos valores de ajuste (ver **Tabla 6 y Tabla 7 del anexo I**).

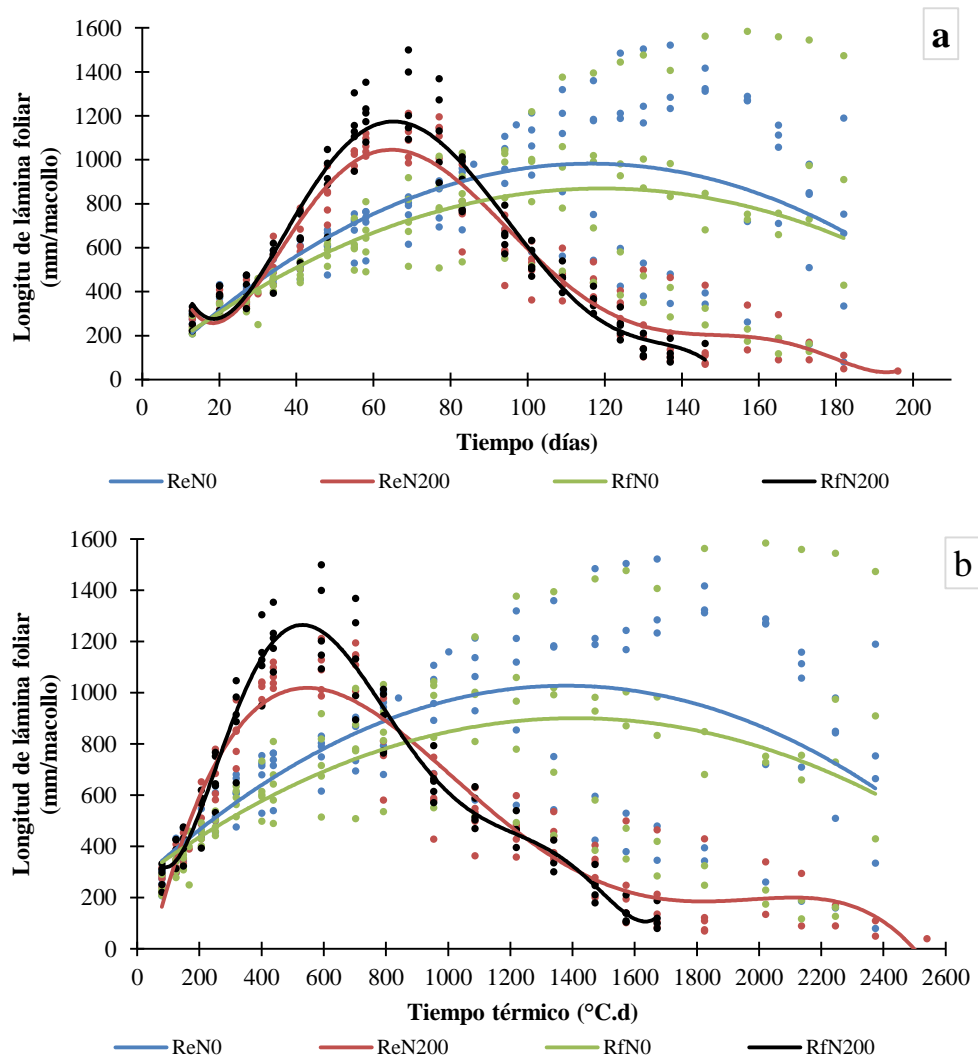


Figura 22. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas) según tratamiento, desde el rebrote primaveral (**a**) y según la acumulación de sumas térmicas (**b**).

Los valores máximos de LLFm fueron entre 1000 y 1200 mm para ReN200 y RfN200, respectivamente, alrededor de los 60 a 70 ddr con una acumulación aproximada

entre 500 y 600 °C día. Previamente para ambos tratamientos, ocurrió la VMF y a los 55 ddr alcanzaron sus máximas TEFm. Un breve período de estabilización del crecimiento comprendió la mayor acumulación foliar verde del macollo. A partir de allí, la senescencia inició una etapa de acumulación lineal mientras que la LLFm comenzó a decrecer (**Figura 23**). Cuando RfN200 y ReN200 acumularon su máximo número de hojas (85 ddr – 800 °C día y 100 ddr – 1000°C día, respectivamente), la LLFm continuó disminuyendo través del tiempo mientras la senescencia se acumuló hasta acercarse a sus máximos al final del ciclo de la especie.

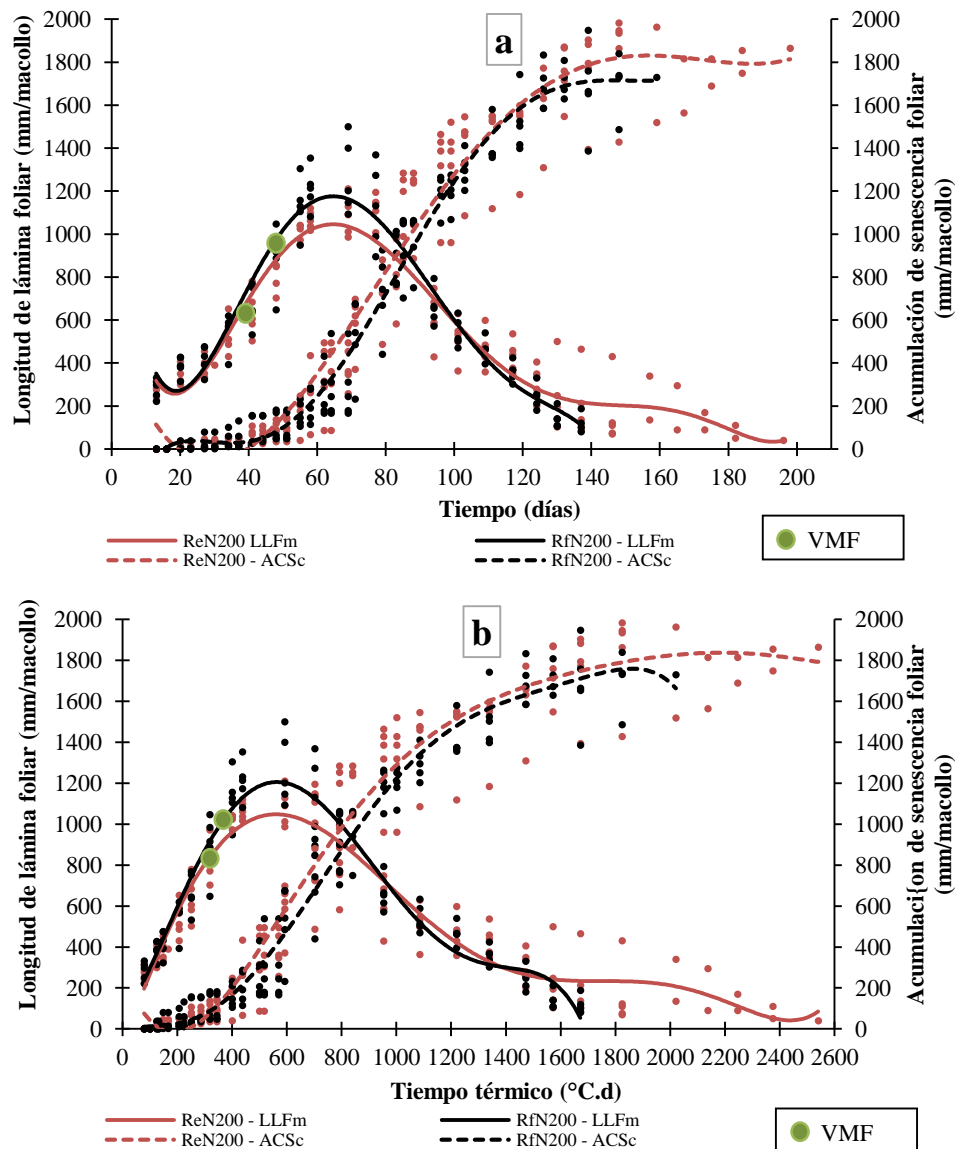


Figura 23. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas), VMF y acumulación de senescencia para tratamientos fertilizados, según días desde el rebrote primaveral (a) y según la acumulación de sumatorias térmicas (b).

Para los tratamientos no fertilizados, se observa en las curvas de regresión que la mayor acumulación de lámina foliar se prolongó alejándose de la VMF con niveles elevados de senescencia (**Figura 24**).

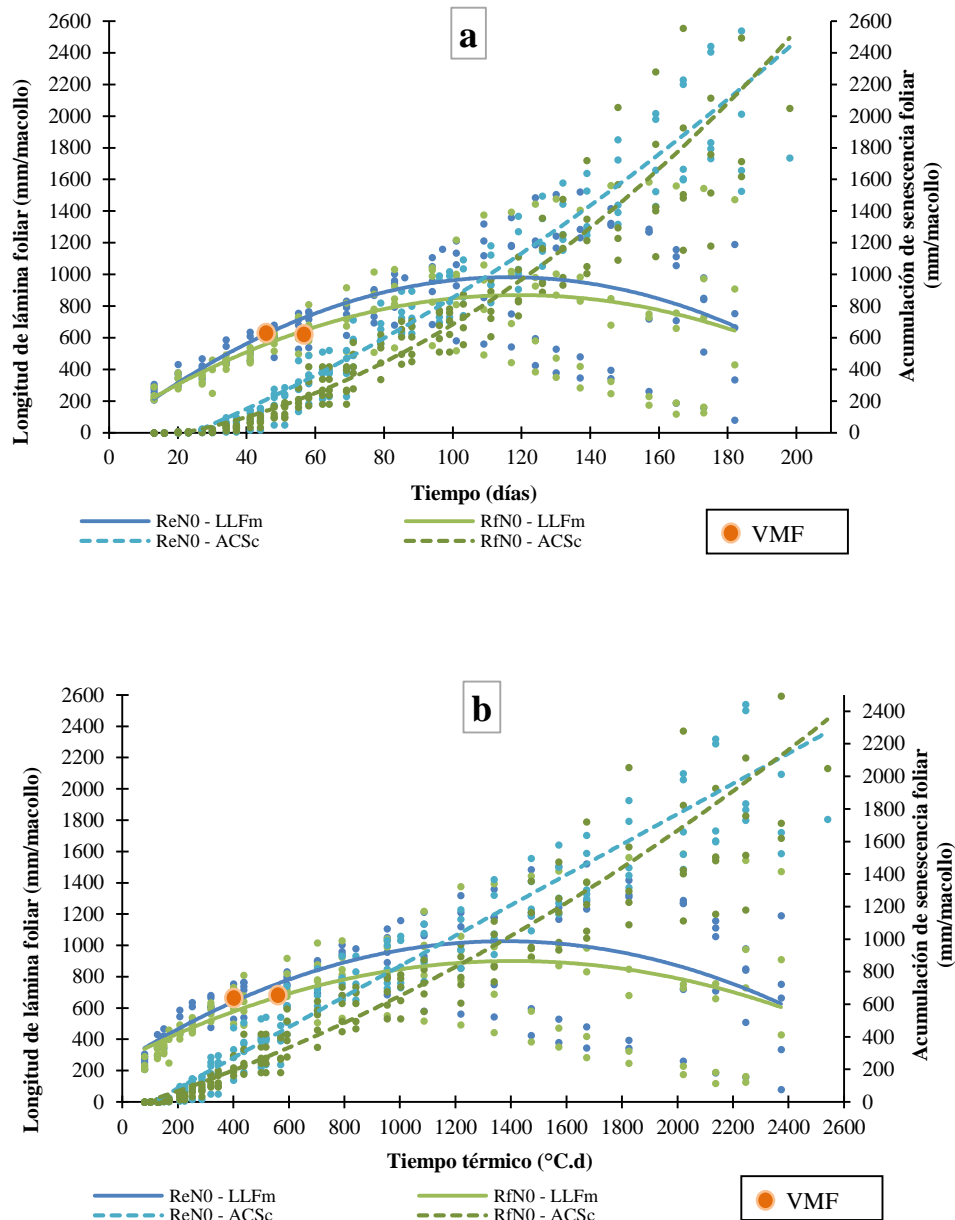


Figura 24. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas), VMF y acumulación de senescencia para tratamientos no fertilizados, según ddr (a) y TT (b).

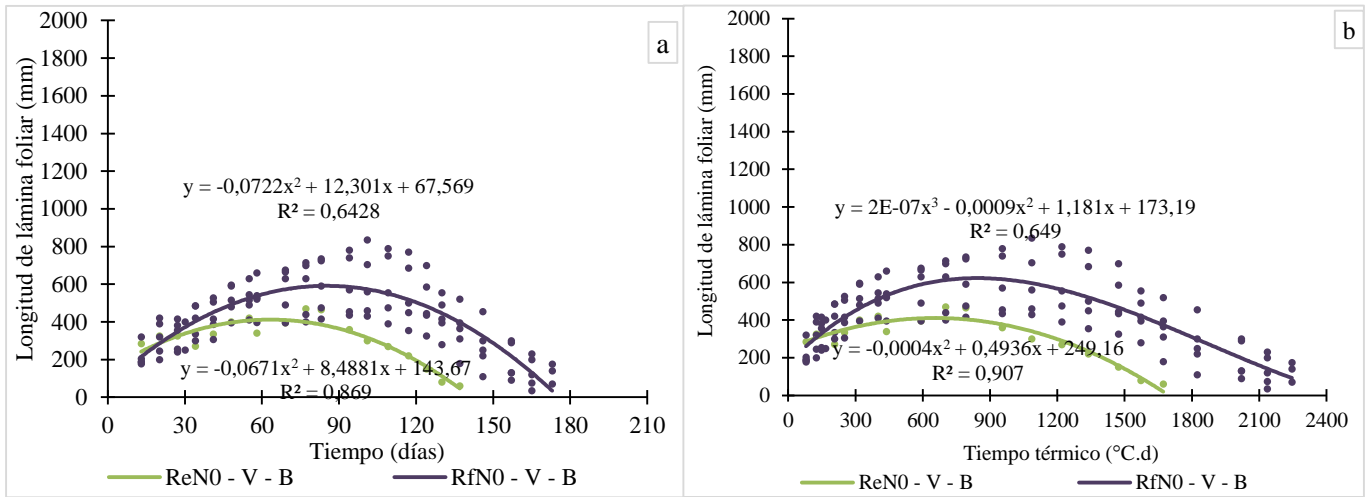
Si bien la acumulación de senescencia para todos los tratamientos al inicio fue lenta, el ritmo con el que avanza el envejecimiento foliar depende también de la velocidad con la que aparecen nuevas hojas, de la VMF y de la TEF. A su vez, la senescencia y la VMF pueden ser modificadas por el nivel de agua presente y por la fertilización nitrogenada. En cada macollo, después de alcanzada la VMF y acorde al IAH (9 a 14 días según tratamiento)

aparecerá una nueva hoja y otra comenzará el proceso de senescencia y así sucesivamente, lo cual aumentará la cantidad de hojas que se encuentran en senescencia. De esa manera, la velocidad de senescencia va aumentando a medida que más hojas han superado la VMF. Por otro lado, antes de que esto ocurra, la planta llega a los máximos valores de TEF. Posteriormente, los macollos que logran entrar en estado reproductivo (la mayoría de los fertilizados) llegan a un máximo número de hojas definido por la actividad de las yemas del ápice vegetativo. Consecuentemente dejan de aparecer nuevas hojas y las más antiguas se encuentran completamente senescentes. La curva de acumulación de la senescencia empieza a ser cada vez menor y a llegar lentamente a su máximo (fertilizados). A diferencia de los tratamientos fertilizados, la mayoría de los macollos no fertilizados (70 % de los marcados) continuaron en estado vegetativo generando nuevas hojas, por lo cual la senescencia avanzó progresivamente hasta el final del ciclo.

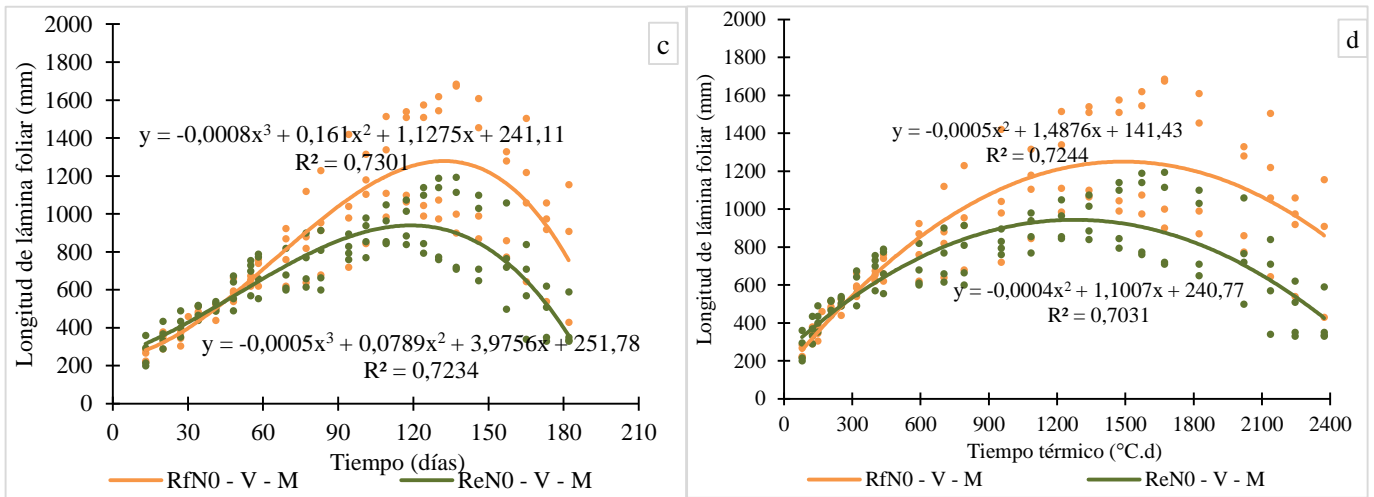
4.2.5.3.3. Patrones de extensión foliar de macollos vegetativos no fertilizados

Dada la variabilidad encontrada en los modelos de regresión de la LLF para los tratamientos no fertilizados (RfN0 y ReN0) y los bajos coeficientes de determinación (ver en **Tabla 6** y **Tabla 7 del anexo I**), se buscó mejorar los ajustes de las curvas y surgió del análisis de los datos que los macollos vegetativos no fertilizados (ReN0 y RfN0 vegetativos) presentaron tres tipos o patrones diferentes de crecimiento para la LLF. Por eso, se plantearon nuevos modelos de regresión que permitieran completar el análisis del crecimiento foliar del macollo. Este comportamiento no se presentó en los macollos reproductivos, por lo que no se incluyen en el siguiente análisis.

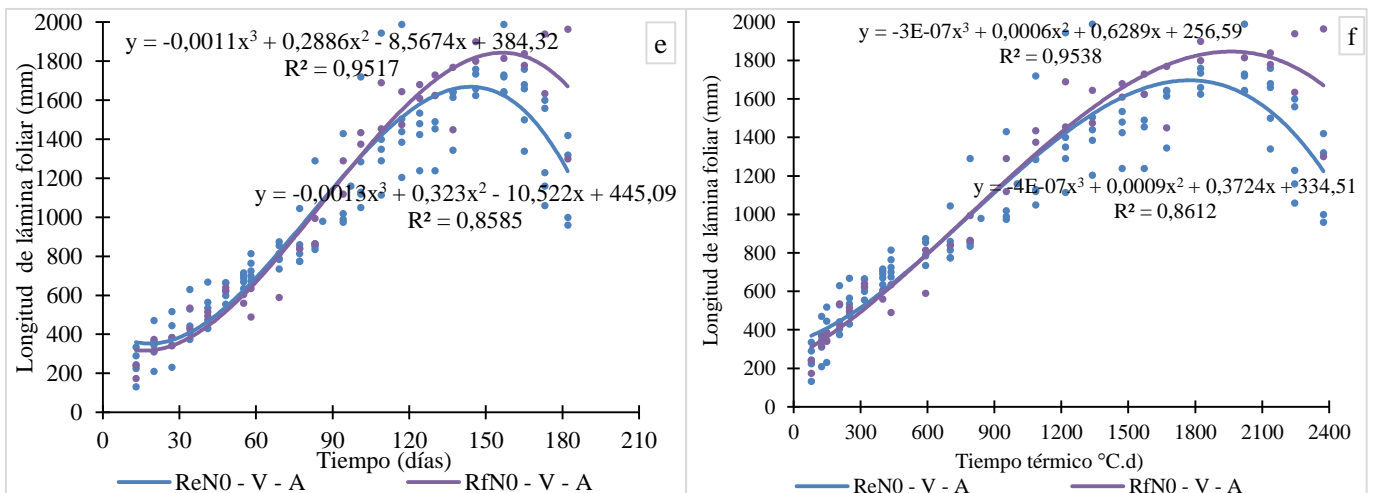
En la **Figura 25** se presentan las curvas de regresión para los macollos vegetativos de RfN0 y ReN0 según tres patrones de crecimiento: bajo (B), medio (M) y alto (A); tanto en días desde el rebrote como en tiempo térmico. Para los tres patrones de crecimiento, RfN0 presentó mayores valores de LLFm que ReN0.



Patrón de crecimiento bajo (B) en días desde el rebrote (a) y según tiempo térmico (b).



Patrón de crecimiento medio (M) en días desde el rebrote (c) y según tiempo térmico (d).



Patrón de crecimiento alto (A) en días desde el rebrote (e) y según tiempo térmico (f).

Figura 25. Longitud de lámina foliar del macollo (sumatoria de láminas) para los tratamientos ReN0 y RfN0 según diferentes patrones de crecimiento foliar de los macollos vegetativos (V).

Los porcentajes de macollos para cada categoría y tratamiento (**Tabla 43**), indican que la mayoría de los macollos mantuvieron un comportamiento de media a alto crecimiento para ReN0 (90% de los macollos entre medio y alto), y de medio a bajo para RfN0 (80%), a pesar de las diferencias en longitud. Esto podría indicar que en RfN0 hubo una mayor competencia entre macollos asociada a una mayor LLFm y a una menor cantidad de nutrientes edáficos que podría agudizarse por lavado del escaso N disponible para las plantas en este tratamiento. Estos resultados muestran que cambios en la disponibilidad del recurso hídrico y la presencia de factores limitantes (nitrógeno) modifican el crecimiento foliar en macollos de una misma planta.

Tabla 43. Porcentaje de los macollos vegetativos identificados que siguieron diferentes patrones de crecimiento de LLFm para tratamientos no fertilizados.

Tratamiento	Alto (%)	Medio (%)	Bajo (%)
ReN0	50 %	40 %	10 %
RfN0	18,1 %	36,4 %	45,5 %

En resumen, la disponibilidad de recursos ambientales jugó un rol importante en la definición del crecimiento foliar del macollo. Cuando se fertilizó el crecimiento foliar fue más regular, lo que permitió que la mayoría de los macollos alcanzaran altos valores de LLFM. En cambio, cuando los recursos resultaron limitantes el desarrollo de la longitud foliar del macollo fue más variable, mantuvo mayor proporción de macollos vegetativos, y estos generaron tres patrones de crecimiento foliar diferentes (bajo, intermedio y alto) como resultado de la competencia por recursos.

4.2.6. Intercepción de radiación (IR), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) e índice de área foliar (IAF)

4.2.6.1. Intercepción de la radiación (IR)

En la **Figura 26** se puede observar la evolución de la intercepción de la radiación, obtenida con ceptómetro, para los diferentes tratamientos a través del tiempo (en **Tabla 8 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos y los coeficientes). Los tratamientos no fertilizados presentaron una relación de segundo grado entre IR y el tiempo transcurrido, mientras que los fertilizados mantuvieron una relación de tercer grado entre las variables. Las relaciones establecidas indican que existió un máximo de IR para cada tratamiento que se corresponde con un valor de tiempo determinado. Al inicio del rebrote primaveral, los valores de IR son similares para todos los tratamientos y luego, las plantas que recibieron

fertilización nitrogenada (ReN200 y RfN200) alcanzaron sus máximos alrededor de los 100 ddr, y los mantuvieron hasta los 150 ddr, a partir de ese momento comenzó a decaer la capacidad de intercepción de la radiación de manera paulatina. Ambos tratamientos (RfN200 y ReN200) mantuvieron mayores IR durante el ciclo. Por otro lado, los tratamientos sin fertilizar, llegaron a sus máximos valores después que los fertilizados (145 ddr).

Los tratamientos fertilizados (ReN200 y RfN200), a pesar de generar menos hojas y presentar menor VMF, presentaron mayor IR dado su rápido crecimiento y desarrollo (mayor TAH, Fc, TEF, adelanto de fenofases), manteniendo su máximo valor durante más tiempo, por lo que aumentaron su capacidad fotosintética ante la luz. Las plantas no fertilizadas mantuvieron menor IR que las fertilizadas, y al extender su ciclo vegetativo presentaron un aumento sostenido de IR en el tiempo y retardaron su máximo.

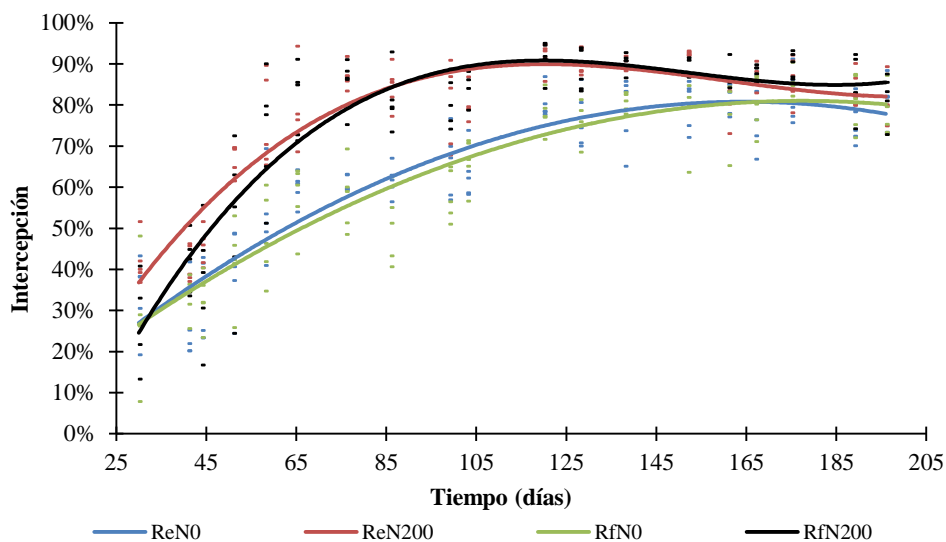


Figura 26. Modelos de regresión para la relación entre el porcentaje de intercepción de la radiación y el tiempo, según tratamiento.

En la **Tabla 44** se presentan las medidas de resumen para la máxima intercepción alcanzada según tratamientos. Al considerar todos los tratamientos, se aprecia una variación entre 0,83 y 0,94 para la máxima intercepción de la radiación (IR_{máx}). Los tratamientos fertilizados muestran una tendencia con mayores valores máximos de intercepción.

Tabla 44. Media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la máxima intercepción de radiación (IR_{máx}) durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamientos	n	IR máx	DE	EE	CV
ReN0	5	0,85	0,02	0,01	2,1
ReN200	5	0,94	0,01	0,004	0,97
RfN0	5	0,83	0,01	0,01	1,79
RfN200	5	0,93	0,01	0,01	1,6

Los resultados del ANOVA y del test a posteriori (LSD Fisher) se presentan en la **Tabla 45**. Existieron diferencias significativas para el modelo ($p < 0,05$), aunque no hubo interacción entre los factores de estudio ($p > 0,05$) ni tampoco existió efecto del factor riego. En cambio, la fertilización mostró diferencias significativas para la variable en estudio ($p < 0,05$). Los tratamientos fertilizados fueron estadísticamente superiores con valores de 0,94 (94%) de intercepción máxima alcanzada, mientras que los testigos presentaron un promedio de 0,84 (84%) para la variable.

Tabla 45. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la máxima intercepción de la radiación (IR máx) según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	IR máx	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	0,94	0,01	0,0035	1,27	A
NO	10	0,84	0,02	0,0035	2,30	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Colabelli et al. (2011) estudiaron el efecto del riego y la fertilización nitrogenada en pastizales naturales Pampeanos (ecorregión de las Pampas Argentinas) con una composición florística variable de especies C_3 , C_4 y leguminosas. Estos autores encontraron mayores intercepciones de la radiación para rebrotes de primavera (con predominancia de C_3) y de verano (con predominancia de C_4) por efecto combinado de los dos factores, alcanzando el IAF crítico (95% de IR). En cambio, los investigadores indican que con fertilización nitrogenada sin riego la intercepción se mantuvo por debajo de valores críticos (95%), y en condiciones naturales IR se mantuvo por debajo de 70%, con predominancia de especies C_3 en ambos casos.

Teniendo en cuenta los niveles máximos promedios (IRmáx) alcanzados por los tratamientos fertilizados (94%) y los no fertilizados (84%), se analizó el momento de ocurrencia en el que se alcanzan valores iguales o superiores al 80% de IR para establecer si existieron diferencias entre ellos. Al considerar todos los tratamientos los valores presentaron una amplia variación para el momento de ocurrencia de 80 % de IR o superior (**Tabla 46**). Se observa en los resultados que los fertilizados alcanzaron anticipadamente los mayores valores de intercepción.

Tabla 46. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el momento en que los tratamientos alcanzan una intercepción de radiación del 80% (IR 80) medido en tiempo cronológico y térmico.

Tratamiento	Unidad de medición	n	Ocurrencia de IR-80%	DE	EE	CV
ReN0	Días	5	128	13,86	6,2	10,83
ReN200	Días	5	68,8	9,86	4,41	14,33
RfN0	Días	5	130,4	7,67	3,43	5,88
RfN200	Días	5	68,6	12,2	5,46	17,78
ReN0	°C día	5	1504,9	233,1	104,24	15,49
ReN200	°C día	5	571,76	119,18	53,3	20,85
RfN0	°C día	5	1549,86	125,23	56,01	8,08
RfN200	°C día	5	578,3	160,7	71,87	27,79

Existieron diferencias estadísticas para el momento de ocurrencia en que los diferentes tratamientos alcanzaron una intercepción mayor al 80% expresado tanto en días como en °C día ($p < 0,05$). En ambos casos, hubo efecto de la fertilización ($p < 0,05$) pero no se manifestaron diferencias por interacción entre factores ni por riego ($p > 0,05$). Los tratamientos fertilizados alcanzan valores superiores al 80% de intercepción alrededor de los 70 ddr con una acumulación de 575 °C día, mientras que los testigos lo hacen en promedio a los 130 ddr con 1527 °C día (**Tabla 47**). Para los tratamientos fertilizados esto ocurrió en la primavera durante la elongación de la planta, mientras que para los no fertilizados sucedió en etapas reproductivas durante el verano. En ambos casos fue posterior a la VMF. Estos resultados son coincidentes con el aumento en la velocidad de crecimiento y con los cambios estructurales observados en las plantas fertilizadas (altas TEFm, mayor LLFm, comienzo de aumento de Sc).

Tabla 47. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la ocurrencia del 80 % de intercepción (IR 80) según nivel de fertilización nitrogenada medido en tiempo cronológico (ddr) y tiempo térmico (°C día).

Fert. N	Unidad de medida	n	Ocurrencia de IR 80	DE	EE	CV	Dif. med.
N 0	Días	10	129,2	10,63	2,86	8,23	A
N200	Días	10	68,7	10,43	2,86	15,22	B
N 0	°C día	10	1527,38	177,99	42,67	11,65	A
N200	°C día	10	575,03	133,43	42,67	23,2	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.2.6.2. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) acumulada por la canopia

Existió una variación en la acumulación de radiación entre $1134,53 \pm 58,12$ y $1402,65 \pm 16,67$ MJ/m² al considerar todos los tratamientos (medidas de resumen **Tabla 48**). Se observa una tendencia a una mayor acumulación de radiación para los tratamientos que recibieron subsidio de nitrógeno.

Tabla 48. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamientos	n	RFAi ac (MJ/m ²)	DE	EE	CV
ReN0	5	1163,68	53,89	24,1	4,63
ReN200	5	1402,65	16,67	7,46	1,19
RfN0	5	1134,53	58,12	25,99	5,12
RfN200	5	1377,97	33,00	14,76	2,39

Existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para la RFAi acumulada ($p < 0,05$). No hubo interacción entre factores, ni tampoco efecto del riego ($p > 0,05$). Por el contrario, la fertilización reveló un efecto significativo sobre la variable en estudio ($p < 0,05$). Los tratamientos fertilizados fueron superiores a los testigos y los que no recibieron un aporte adicional de nitrógeno, manifestaron $241,2$ MJ/m² menos de RFAi ac (**Tabla 49**).

Tabla 49. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	RFAi ac (MJ/m ²)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	1390,31	55,03	14,04	4,8	A
N0	10	1149,11	27,87	14,04	2,0	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Cuando se analiza la acumulación de RFAi a través del tiempo, se observa que existe una relación de 3° grado entre las variables (**Figura 27**; en **Tabla 11 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos y los coeficientes). Todos los tratamientos muestran curvas de regresión de forma sigmoide. Al inicio del rebrote, la captación de RFA fue baja por la menor capacidad de la planta (área foliar) para interceptar la radiación y, además, porque en ese momento existió una radiación incidente menor. A medida que avanzó el crecimiento de la planta la radiación incidente aumentó, y dados los incrementos en la biomasa aérea, la intercepción de la radiación fue mayor, por lo que, también aumentó la

acumulación de RFAi. Aproximadamente a partir de los 60 ddr comenzó una fase de rápido incremento de la captación, donde la RFAi acumulada aumentó linealmente. Ese momento coincidió con las TEFm más altas para los tratamientos fertilizados, a la vez que la LLFm se acercó a sus valores máximos y las plantas iniciaron la etapa de elongación con el inicio de la senescencia. Finalmente, existe una tercera etapa donde comenzó a decaer la capacidad de la canopia para captar la RFA por efecto de sombreo y acumulación de material senescente.

Durante la fase inicial, todos los tratamientos se comportaron de manera similar y no se pudo apreciar ninguna diferencia entre ellos. A partir de la etapa lineal, se observa en las curvas que la pendiente de los tratamientos fertilizados es mayor. Esto generó que desde allí y hasta el final del ciclo, la RFAi acumulada para un momento dado, fuese más alta que para los tratamientos sin fertilizar.

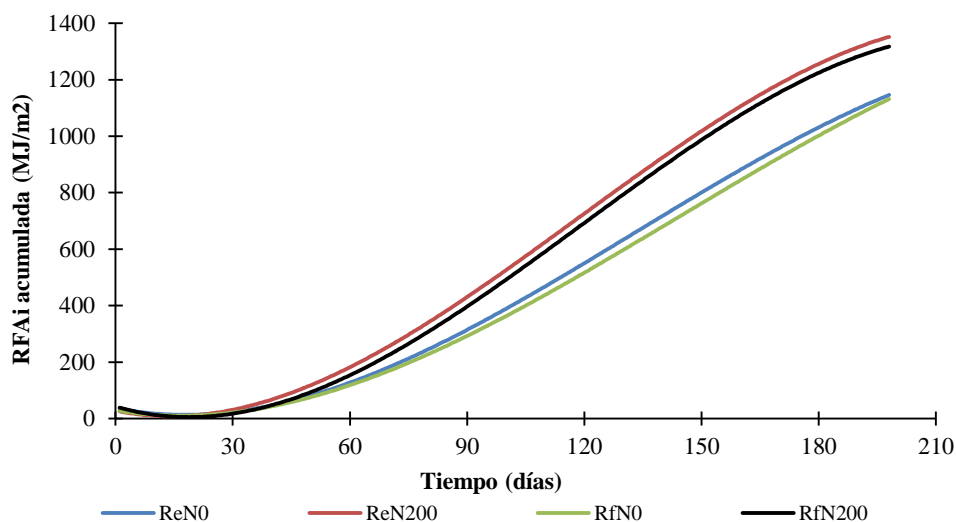


Figura 27. Modelos de regresión para la relación entre la acumulación de RFAi y el tiempo, según tratamiento.

Resultados similares fueron encontrados por Frigerio et al. (2009), al analizar la acumulación de la RFAi en relación a la biomasa producida durante el verano para *digitaria* sometida a distintos niveles de fertilidad y riego (0, 150 y 300 Kg N/ha; y secano vs capacidad de campo en parcelas), donde con menores precipitaciones durante el ciclo, concluyen que aportes diferenciales de agua y nitrógeno permitieron alcanzar mayor acumulación de RFAi. De la misma manera Bertram et al. (2012) encontraron mayores acumulaciones de RFA al fertilizar grama rhodes (*Chloris gayana*).

4.2.6.3. Tasa de captación de la radiación fotosintética activa interceptada (TRFAi)

Es posible calcular para cada planta, en diferentes momentos del ciclo la tasa de captura diaria de la RFAi ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{día}$). Se establecieron regresiones de segundo grado entre la TRFAi y el tiempo transcurrido para los diferentes tratamientos (valores del modelo matemático en **Tabla 10 del anexo I**). En la **Figura 28** se observa que al inicio, todos los tratamientos presentan bajas TRFAi y similar entre ellos. Luego, la tasa de acumulación de RFAi aumenta hasta llegar a una meseta máxima para luego decaer. Los tratamientos fertilizados alcanzan dicha etapa con anterioridad y con valores mayores a los no fertilizados. Para ReN200 y RfN200, los valores máximos de TRFAi ocurren entre los 90 y 150 ddr en coincidencia con la máxima IR. En cambio, para ReN0 y RfN0, la meseta se alcanza alrededor de los 105 ddr y comienzan a descender a los 160 ddr.

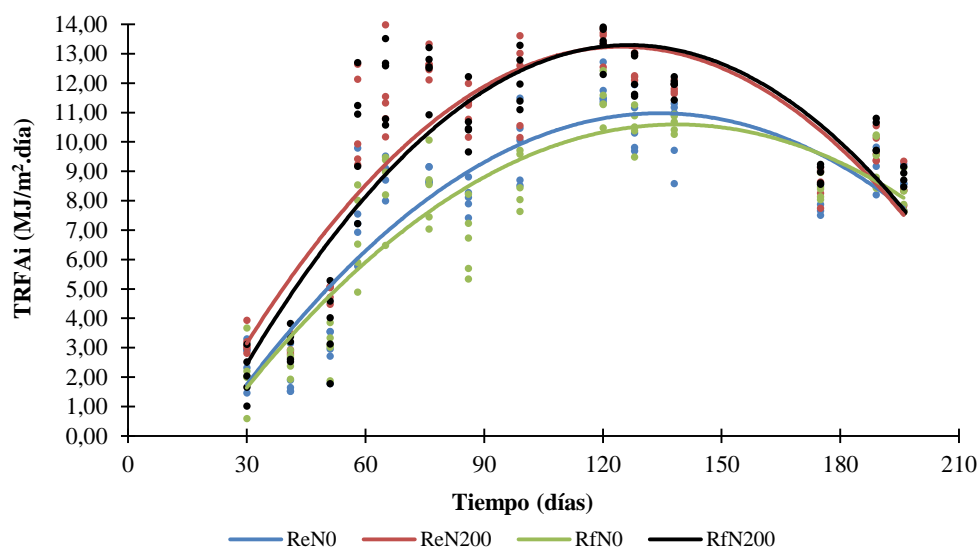


Figura 28. Modelos de regresión para la relación entre la TRFAi y el tiempo, según tratamiento.

4.2.6.4. Índice de área foliar (IAF)

4.2.6.4.1. Desarrollo del índice de área foliar (por planta en maceta) a través del tiempo

Se establecieron modelos de regresión de segundo grado entre IAF y el tiempo para los diferentes tratamientos. En la **Figura 29** se observa que el IAF aumentó desde el rebrote hasta llegar a una meseta con altos valores (valores del modelo matemático en **Tabla 11**

anexo I). A medida que transcurre el tiempo, los tratamientos fertilizados desarrollaron un IAF mayor que el de los no fertilizados. Tanto RfN200 como ReN200 alcanzaron con anterioridad la meseta de valores elevados de IAF (por encima de 4) y mantuvieron durante mayor tiempo dicha situación.

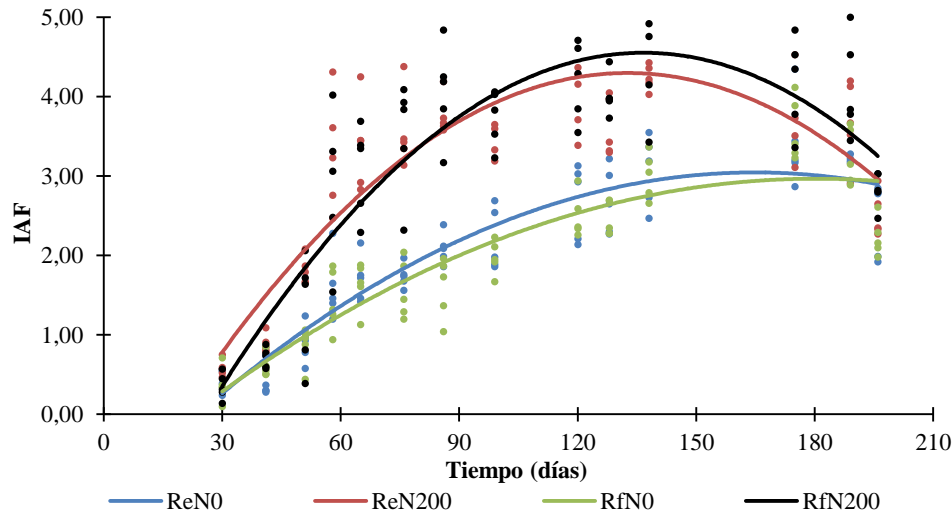


Figura 29. Modelos de regresión para la relación entre IAF y el tiempo, según tratamiento.

Se determinaron los máximos IAF alcanzados por cada planta durante el ciclo. En la **Tabla 50** se presentan los promedios de IAF máximo alcanzados por los diferentes tratamientos. Se puede observar que hubo una variación entre 3,62 y 5,07 para el IAF máximo al considerar los cuatro tratamientos. Se observa una tendencia de valores más altos de IAF máximo para los tratamientos fertilizados.

Tabla 50. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de área foliar máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamientos	n	IAF máx	DE	EE	CV
ReN0	5	3,64	0,47	0,21	13,04
ReN200	5	5,07	0,48	0,21	9,48
RfN0	5	3,62	0,37	0,17	10,22
RfN200	5	5,06	0,31	0,14	6,09

Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos asociadas al nivel de fertilización ($p < 0,05$), en cambio, no existió interacción ni efecto del riego sobre el IAF máximo alcanzado. Las plantas que recibieron un subsidio de nitrógeno por fertilización fueron estadísticamente superiores ($5,06 \pm 0,38$ vs $3,63 \pm 0,40$) (**Tabla 51**).

Tabla 51. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de área foliar máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	IAF máx	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	5,06	0,38	0,15	7,52	A
N0	10	3,63	0,4	0,15	11,06	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Cabe aclarar que los valores máximos aquí comparados ocurrieron en diferente momento para cada planta (cada repetición), por lo que no coinciden con lo observado al considerar el tiempo transcurrido, ya que en la regresión temporal realizada, la curva responde a un promedio de las 5 repeticiones en un momento dado. En cambio, cuando se calculó el máximo para cada planta, éste ocurrió en diferentes momentos, por lo que el promedio de las repeticiones resultó en un valor mayor. Esto se refleja en todas las regresiones donde no se considera el tiempo.

Frigerio et al. (2009) analizaron el IAF de digitaria y la captación de la radiación durante el rebrote estival, y encontraron mayores valores máximos según el aporte diferencial de nitrógeno y agua. Durante el período de evaluación, los menores valores se encontraron asociados a tratamientos de secano sin fertilización, mientras que para los tratamientos fertilizados y regados los autores informan valores máximos de IAF de 5,0 y 6,2. Bertram et al. (2012) también encontraron incrementos en el IAF por efecto del aporte de nitrógeno a través de la fertilización en grama rhodes.

4.2.6.4.2. Relación entre índice de área foliar y la intercepción de la radiación

A partir de la relación entre IAF y la intercepción de la radiación, se construyeron modelos de regresión de segundo grado para los diferentes tratamientos. Las relaciones establecidas indican que existe un IAF a partir del cual se llegó a un máximo de IR para cada tratamiento (**Figura 30**). Todos los tratamientos alcanzan una intercepción de 0,8 (80%) con valores de IAF de 3. Para ReN0 y RfN0 un IAF de 3 coincide con la máxima TRFAi y altos valores de intercepción. Posteriormente, estos tratamientos llegaron a una máxima intercepción de alrededor de 0,85 (85%) con valores de IAF entre 3,5 y 4.

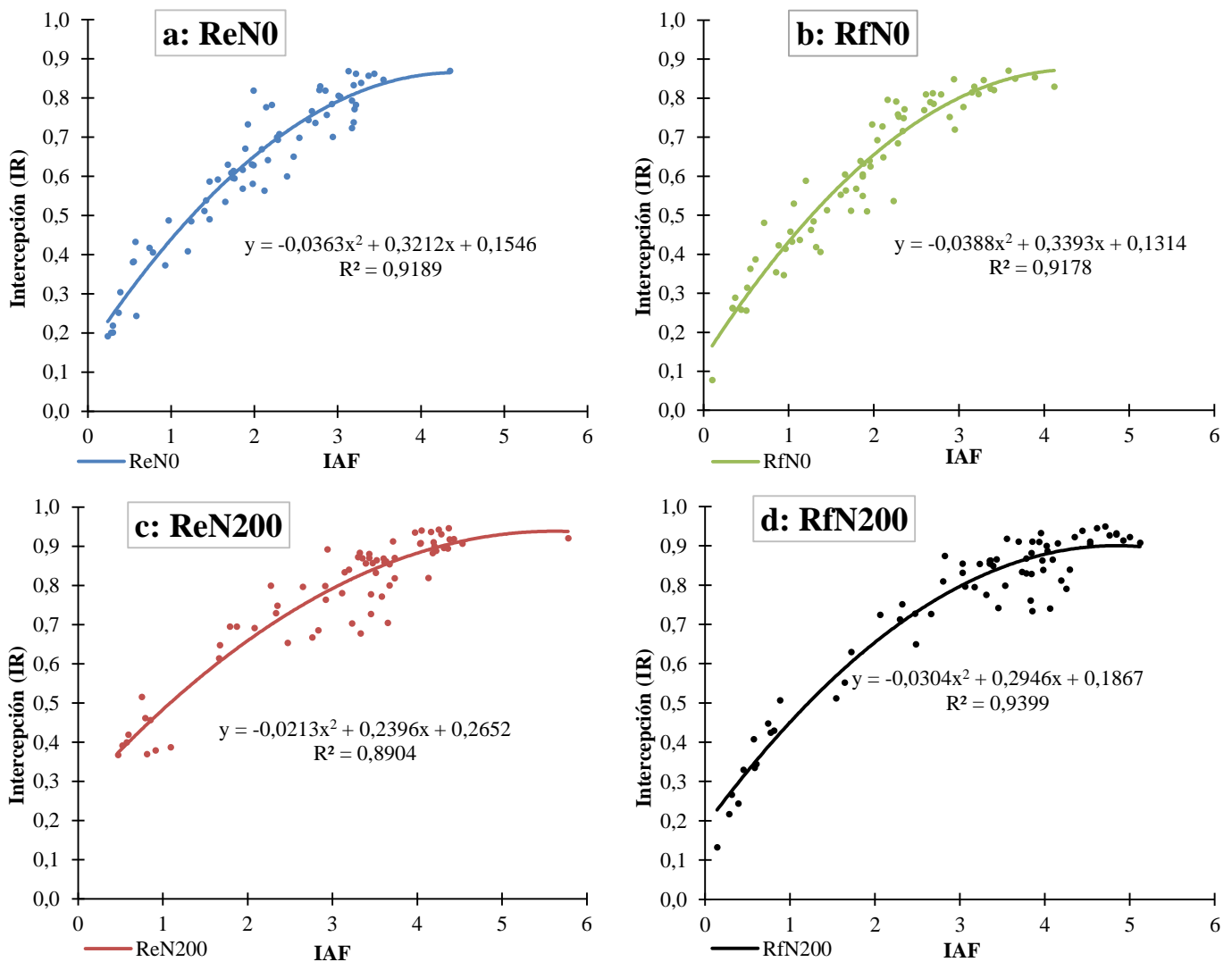


Figura 30. Modelos de regresión para la relación entre intercepción de la radiación e IAF según tratamiento: ReN0 (a); RfN0 (b); ReN200 (c); RfN200 (d).

Los tratamientos fertilizados (ReN200 y RfN200) presentaron mayores niveles de intercepción y de IAF. A partir de un IAF de 5 la intercepción de la radiación se acercó a sus valores más altos, momento en el que se lograron las máximas TRFAi.

A partir de los valores de ajuste de las curvas de regresión (modelo matemático) de la **Figura 30** se realizó la **Tabla 52** donde se muestran para cada tratamiento los valores más altos de intercepción y su correspondiente IAF. Para los tratamientos no fertilizados el IAF subcrítico rondó un valor de 4 con intercepciones máximas del 85 %, mientras que los tratamientos que recibieron fertilización llegaron a interceptar valores entre 90 y 94% con un IAF crítico cercano a 5. Rossi et al. (2015b) encontraron en *digitaria* un IAF crítico con 95% de intercepción cercano a 5 a partir de un modelo estadístico que relaciona IAF y la IR. Por otro lado, Frigerio et al. (2009) y Privitello et al. (2009) estudiaron la relación entre la acumulación de biomasa con la RFAi y el potencial productivo de *digitaria* durante la

estación estival en San Luis para distintos niveles de riego y fertilización nitrogenada y encontraron que la mayor intercepción (98%), captura de RFAi (2100 MJ/m²) y acumulación de planta entera (700 g MS/m²) se logró con los tratamientos fertilizados y regados que alcanzaron valores de IAF entre 5 y 6. De manera equivalente, relaciones similares fueron establecidas en grama rhodes por Bertram et al. (2012) donde el cultivo alcanzó intercepciones del 90% con IAF de 5 y la mayor acumulación de biomasa aérea (ABA) al fertilizar con nitrógeno.

Tabla 52. Valores predichos de IAF de los diferentes modelos de regresión establecidos según tratamiento.

Tratamiento	Máxima intercepción	IAF calculado
ReN0	0,85	4,05
ReN200	0,94	4,97
RfN0	0,83	4,04
RfN200	0,93	4,73

4.2.6.4.3. IAF vs tasa de captura diaria de RFA (TRFAi)

Los modelos de regresión obtenidos, muestran una relación de segundo grado entre el IAF y la TRFAi, para los diferentes tratamientos (**Figura 31**). El IAF aumentó a medida que la planta desarrolla una mayor cobertura vegetal, y como consecuencia, la captura diaria de RFA se incrementó también. Los tratamientos no fertilizados alcanzaron su mayor TRFAi con valores de IAF de alrededor de 3. La tasa de captura se mantuvo y luego comenzó a decaer al llegar a un IAF de 4. Por otro lado, los tratamientos fertilizados alcanzan valores máximos de IAF y de TRFAi más altos y ésta última se mantiene a medida que el IAF continúa avanzando. Los tratamientos fertilizados logran altas tasas de captura diaria de radiación con valores máximos de IAF entre 4 y 6. En este último caso, los aumentos en IAF desde mediados hacia finales del ciclo, permitieron mantener la tasa de intercepción a medida que la radiación incidente descendió.

El comportamiento de los diferentes tratamientos pone de manifiesto nuevamente que cuando existió un subsidio de nitrógeno edáfico el IAF alcanzó valores más altos, logrando un mayor crecimiento de la canopia, las tasas de captación de la radiación resultaron mayores y se mantuvieron a medida que el IAF aumentó. Existió un efecto de compensación, al mantenerse la tasa de captación a medida que disminuía la RFA incidente, gracias a los aumentos de IAF en los tratamientos fertilizados.

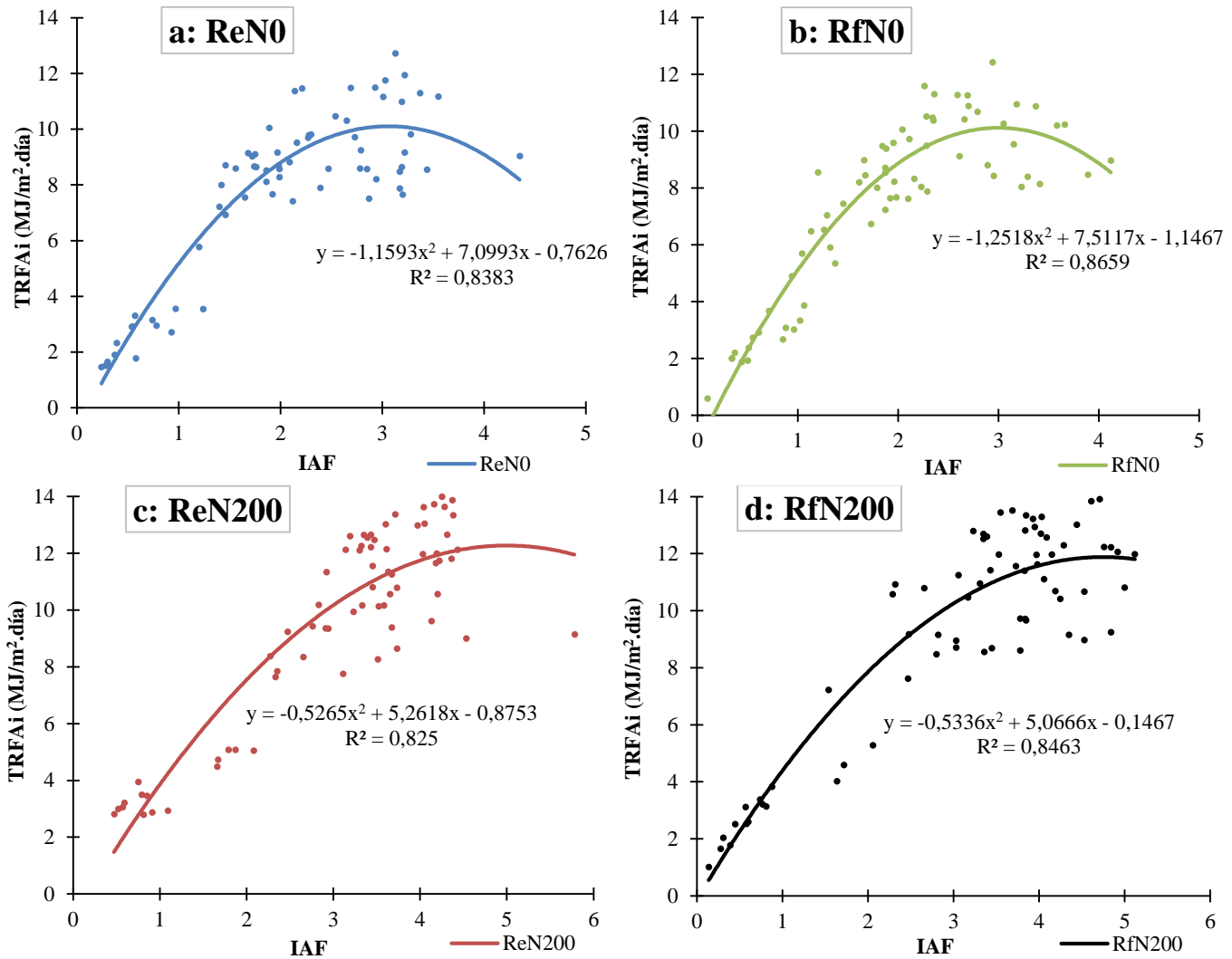


Figura 31. Modelos de regresión para la relación entre IAF y TRFAi (MJ/m².día) según tratamiento: ReN0 (a); RfN0 (b); ReN200 (c); RfN200 (d).

4.2.7. Acumulación de biomasa

4.2.7.1. Biomasa aérea total (ABA)

Al considerar todos los tratamientos, la ABA de las plantas en macetas para todo el ciclo de crecimiento, varió entre $47,6 \pm 7,16$ y $182,4 \pm 30,88$ g MS/planta (**Tabla 53**). Se observa en los resultados una tendencia de mayor ABA para aquellos tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada, mientras que las diferencias asociadas a la frecuencia de riego son menores pero indicarían una tendencia a mayor producción cuando el contenido hídrico aumenta. Esta tendencia es un indicio de que posiblemente algunas de las variables morfogénicas y estructurales (NHT, IAH, Fc, TAH) hayan resultado más sensibles a las variaciones de humedad edáfica.

Tabla 53. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según tratamientos.

Tratamiento	n	ABA (g MS/planta)	DE	EE	CV
ReN0	5	47,6	7,16	3,2	15,1
ReN200	5	176,4	17,78	7,95	10,1
RfN0	5	55,8	4,66	2,08	8,35
RfN200	5	182,4	30,88	13,81	16,9

El resultado del ANOVA indica que existieron diferencias significativas entre los tratamientos para el modelo ($p < 0,05$). No existió interacción entre los factores de estudio (fertilización x riego). No hubo efecto significativo del factor riego ($p > 0,05$) pero en cambio, si se manifestaron diferencias estadísticas para el factor fertilización ($p < 0,05$). En la **Tabla 54** se presentan los resultados para la variable según el efecto del factor fertilización. Los resultados constatan que ABA fue significativamente mayor para las plantas que recibieron subsidio de nitrógeno, mientras que N200 alcanzó $179,4 \pm 23,96$ g MS/planta, N0 tuvo una ABA de $51,7 \pm 7,15$ g MS/planta. Este resultado implica una diferencia de 127,7 g MS/planta entre las dos situaciones. Otros autores también encontraron una respuesta positiva en la acumulación de biomasa aérea al fertilizar digitaria en la región semiárida (Veneciano y Terenti, 1997; Veneciano et al., 2005; Veneciano y Frigerio, 2008; Privitello et al., 2009). En una investigación realizada en esta especie durante 6 ciclos productivos (2001 a 2007) en San Luis con precipitaciones interanuales variables, Veneciano y Frigerio (2008) encontraron que tratamientos fertilizados (equivalente 60 kg N/ha) en todos los años produjeron una mayor biomasa aérea (entre el doble y el cuádruple) para todos períodos al compararlo con parcelas testigo sin fertilizar, y además infieren que las precipitaciones y el nitrógeno fueron los factores que determinaron el nivel productivo de la pastura.

Tabla 54. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según nivel de fertilización.

Fert. N	n	ABA (g MS/planta)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	179,4	23,96	5,54	13,36	A
N 0	10	51,7	7,15	5,54	13,86	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

La fertilización generó una mayor ABA en las plantas pero no hubo un aporte importante a la variable por efecto del riego. Esto último posiblemente se deba a que el ciclo

de crecimiento ocurrió bajo un régimen de precipitaciones alto y regular (con una distribución homogénea de lluvias).

4.2.7.2. Biomasa de tallos (ABt)

Cuando se consideran todos los tratamientos, se observa en la **Tabla 55** que la acumulación de biomasa de tallos durante todo el ciclo de crecimiento, varió entre $5,32 \pm 4,13$ y $79,93 \pm 25,58$ g MS/planta.

Tabla 55. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la acumulación de biomasa de tallos (ABt) según tratamientos.

Tratamiento	n	ABt (g MS/planta)	DE	EE	CV
ReN0	5	6,95	5,07	2,27	72,94
ReN200	5	67,35	5,02	2,24	7,45
RfN0	5	5,32	4,13	1,85	77,72
RfN200	5	79,93	25,58	11,44	32

Existieron diferencias significativas provocadas por los niveles de fertilización aplicados ($p < 0,05$), pero no hubo interacción entre factores ni efecto de la frecuencia de riego ($p > 0,05$). En la **Tabla 56** se presentan resultados que constatan que los tratamientos fertilizados generaron una biomasa de tallos mucho mayor a la de los no fertilizados. Resultados similares fueron reportados por (Veneciano y Terenti, 1997) en una investigación de dos años en secano donde se encontraron mayores producciones de tallo para digitaria fertilizada. Privitello et al. (2009) también obtuvieron incrementos en la proporción de tallos de digitaria por efecto de la fertilización nitrogenada cuando esta va acompañada de riego. En su estudio de 6 ciclos productivos (2001 a 2007) en San Luis, Veneciano y Frigerio (2008) también encontraron que tratamientos fertilizados produjeron una mayor biomasa de tallos para todos los años al compararlo con parcelas sin fertilizar.

Tabla 56. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para acumulación de biomasa de tallos (ABt) según nivel de fertilización.

Fert. N	n	ABt (g MS/planta)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	73,64	18,6	5,36	25,26	A
N 0	10	6,14	4,44	5,36	72,45	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

La alta variabilidad (DE y CV) en los tratamientos no fertilizados implican una dispersión importante respecto de los valores medios. Al igual que lo ocurrido con el número

de tallos florales, y en coincidencia con lo mencionado por Veneciano (2006), estos resultados muestran que la producción de varas florales puede resultar variable para digitaria en la región de estudio.

4.2.8. Índice de Clorofila

4.2.8.1. Índice de clorofila máximo (IC máx)

El índice de clorofila máximo (IC máx) ocurrido durante el ciclo de crecimiento, varió entre $29,52 \pm 3,34$ y $43,38 \pm 1,85$ unidades SPAD según los tratamientos (**Tabla 57**). Los mayores valores se encuentran asociados a los tratamientos fertilizados. Las variaciones debidas al factor riego son poco considerables.

Tabla 57. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el valor máximo del índice de clorofila (IC máx) durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamiento	n	IC máx (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	5	29,88	2,67	1,2	8,95
ReN200	5	43,38	1,85	0,83	4,26
RfN0	5	29,52	3,34	1,5	11,3
RfN200	5	41,64	2,06	0,92	4,95

El resultado del análisis de la varianza indica que existieron diferencias significativas para IC máx entre tratamientos para el modelo planteado ($p < 0,05$). A pesar de esto, no hubo interacción entre los factores analizados ni efecto por la frecuencia de riego ($p > 0,05$), pero en cambio sí ocurrió un efecto significativo de la fertilización ($p < 0,05$). La concentración de clorofila aumentó con el agregado de fertilizante nitrogenado. En la **Tabla 58** se observa que los tratamientos fertilizados alcanzaron valores de $42,51 \pm 2,06$ unidades SPAD, mientras que el testigo (sin subsidio nitrogenado) fue de $29,72 \pm 2,86$ unidades SPAD.

Tabla 58. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el valor máximo del índice de clorofila (IC máx) según nivel de fertilización.

Fert. N	n	IC máx (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	42,51	2,06	0,89	4,85	A
N 0	10	29,7	2,86	0,89	9,63	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Investigadores de la UNSL determinaron para pasto llorón fertilizado (equivalente a 200 kg N/ha con nitrato de amonio) mayor verdor de las hojas (mayor IC) respecto del control (valores máximos de 37 y 26 unidades SPAD, respectivamente). En ambos casos, el IC disminuyó después del encañe (Privitello, comunicación personal). Lavres jr et al. (2010) encontraron aumentos en las lecturas de unidades SPAD en láminas de *Panicum maximum* Jacq. cv “mombaça” (pasto “mombaza”) relacionados a incrementos en la dosis de nitrógeno aplicada a plantas de esta especie. Además, estos autores mencionan que los valores del IC aumentan conjuntamente con la concentración de nitrógeno en hoja hasta alcanzar un valor crítico a partir del cual no se detectan incrementos en las unidades SPAD. Kantety et al. (1996) encontraron resultados similares en *Festuca arundinacea* (“festuca alta”), con aumentos IC bajo diferentes dosis de fertilización, para cuatro genotipos distintos en tres localidades diferentes de Alabama (USA). Madakadze et al (1999) determinaron que el IC puede utilizarse para predecir concentraciones de nitrógeno en *Panicum virgatum* L. Teniendo en cuenta esto, los resultados de la **Tabla 58** muestran que los mayores valores de unidades SPAD pueden relacionarse con mayores contenidos de nitrógeno en las hojas.

Dado que el IC refleja el contenido de nitrógeno, se puede asociar al contenido de proteína y por lo tanto, utilizarlo como indicador indirecto del contenido del contenido proteico frente a situaciones contrastantes (fertilizado y control). Aumentos en el contenido de PB por fertilización en digitaria cultivada en el semiárido argentino también han sido reportados por otros autores (Veneciano y Terenti, 1997; Gargano et al., 2004; Gargano et al., 2006). Veneciano y Frigerio (2008) reportaron para digitaria fertilizada en San Luis altos incrementos (entre doble y el triple) en el rendimiento anual de PB (kg/ha) durante 6 ciclos de crecimiento (2001 a 2007).

Relaciones sinérgicas entre nitrógeno y agua sobre la nutrición de la pastura fueron comunicadas por Frigerio et al. (2016), quienes confirman que aportes de nitrógeno sin adecuada disponibilidad hídrica no provocan aumentos de acumulación de nitrógeno ni mejoran el índice de nutrición nitrogenada. Dicho efecto no se manifestó en este ensayo dado que las condiciones hídricas no fueron suficientemente restrictivas como para enmascarar la relación sinérgica entre los recursos.

4.2.8.2. Modelos de regresión para la evolución del índice de clorofila

En la **Figura 32** se muestran los modelos de mejor ajuste de la evolución del IC a través del tiempo cronológico (días) y térmico (°C día) para los 4 tratamientos (en **Tabla 12**

y **Tabla 13 del anexo I** se encuentran los modelos matemáticos y los coeficientes). Al inicio del rebrote todos los tratamientos, parten de valores similares de IC, cercanos a las 30 unidades SPAD. En la **Figura 32** se describen comportamientos diferentes según el aporte de nitrógeno dado por la fertilización. Posterior al rebrote, para las plantas que no recibieron subsidio de nitrógeno por fertilización, IC desciende paulatinamente con el avance del ciclo (**Figura 32a**). Por lo tanto, los máximos valores medidos de IC ocurrieron alrededor de los 30 y 60 ddr con una acumulación de aproximadamente 200 a 500 °C día (**Figura 32b**). No se detectan diferencias generadas por la frecuencia de riego, ya que ambos tratamientos se manifiestan similares (ReN0 y RfN0).

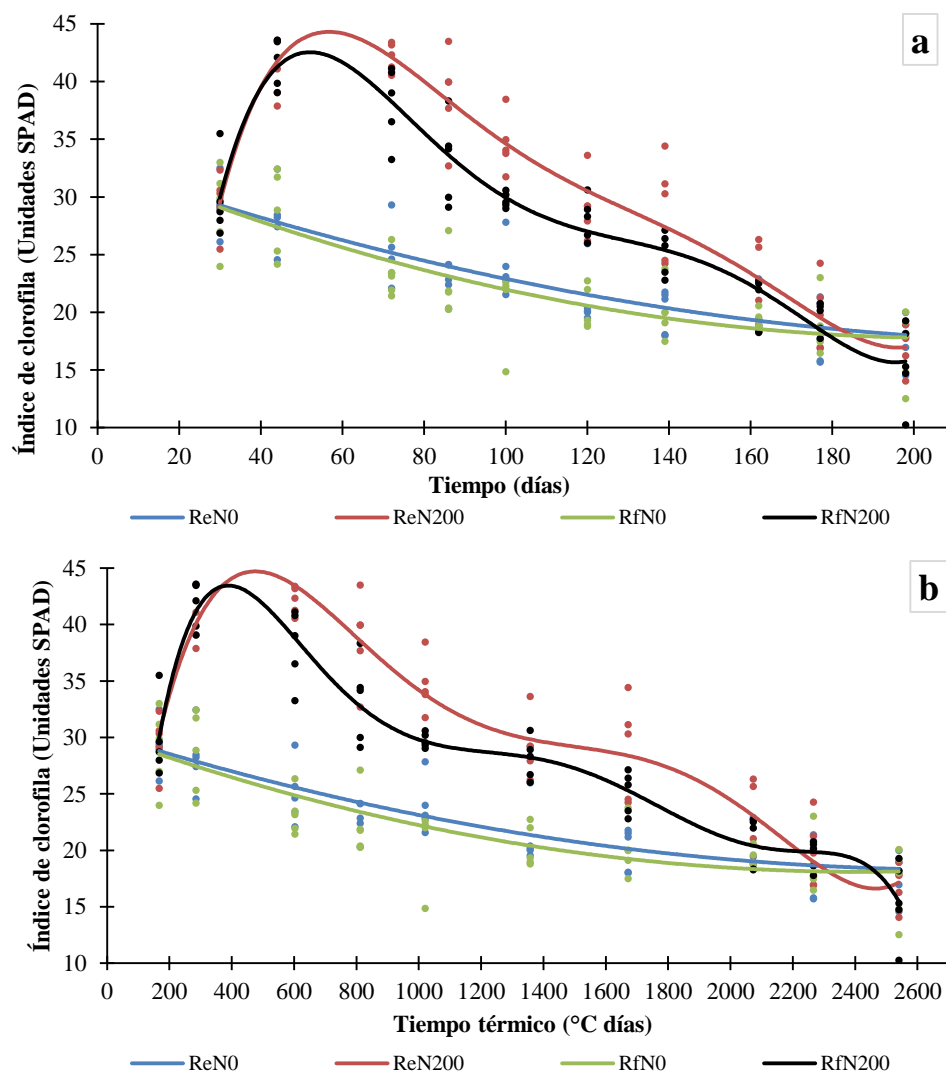


Figura 32. Evolución del IC (unidades SPAD) según días desde el rebrote (**a**) y según la acumulación de sumatorias térmicas (**b**) por tratamiento.

En los tratamientos fertilizados, el tenor de clorofila aumentó a partir del máximo IC registrado en las sin fertilizar hasta llegar a sus valores máximos. RfN200 y ReN200

presentaron sus máximos con valores superiores a 40 unidades SPAD alrededor de los 45 a 65 ddr con una acumulación térmica de 350 a 600 °C día, previo al inicio de la elongación. Luego, comenzaron un continuo descenso hasta el final del ciclo. Los tratamientos fertilizados avanzaron en sus estadios fenológicos acumulando material senescente más aceleradamente que los no fertilizados, por lo que IC descendió más abruptamente a medida que esto ocurrió. De manera similar, Veneciano et al. (2005) reportan una declinación acelerada en el contenido de PB y en la calidad nutricional a partir de diciembre con el avance de los estados fenológicos reproductivos en digitaria fertilizada. Lucero (2016) informó que pasto llorón fertilizado con nitrógeno (en maceta) mostró mayor verdor (mayor clorofila en hojas) que los no fertilizados. En ambos tratamientos los IC disminuyeron después del encañe (mediado de noviembre en los fertilizados y principio de diciembre en los no fertilizados). Con fertilización las plantas alcanzaron máximos de IC promedio de 37 y los sin fertilizar de 25, adelantándose en este último tratamiento dicho máximo.

Frigerio et al. (2016) informan para *Digitaria eriantha*, sometida a diferentes tratamientos de fertilización y riego en primavera (fines de noviembre a fines de diciembre) y verano (enero) durante dos ciclos, una acumulación térmica de 500 °C día necesarios para alcanzar la meseta de acumulación de N en planta. En este estudio se alcanzaron (RfN200 y ReN200) o mantuvieron (ReN0 y RfN0) valores máximos de IC para dicha TT.

4.2.8.3. Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN)

El ISN relaciona un valor de IC para una determinada situación y el IC de un tratamiento en condiciones sin restricciones de nitrógeno. El valor máximo de ISN (= 1) corresponde al máximo valor de IC, que presenta una alta acumulación de biomasa aérea lograda con fertilización. Índices con valores menores implican una insuficiencia de nitrógeno.

ReN200 presentó los valores más altos de IC y por lo tanto, se tomó como referencia para calcular ISN. En la **Figura 33** se observa la evolución del ISN a través del tiempo. Al inicio del rebrote las diferencias entre tratamiento fueron nulas. Luego, los tratamientos fertilizados (ReN200 y RfN200) mantuvieron valores mayores de ISN. En los sin fertilizar se detectó una caída del ISN debido a la menor fertilidad nitrogenada y a las necesidades nutricionales del rebrote primaveral, posteriormente se aprecia un ISN sostenido. Hacia el final del ciclo los valores de IC fueron similares para todos los tratamientos, y por lo tanto, las diferencias se redujeron. Comportamientos similares fueron encontrados en trigo por

Gandrup et al. (2004), con diferencias menores al inicio del rebrote, y con bajos ISN en variedades de trigo en sitios de menor fertilidad y también cuando los tratamientos presentaron bajas dosis de fertilización para un mismo sitio.

Generalmente el ISN de RfN0 se mantiene por debajo de ReN0, lo que comprueba el efecto del lavado de nitrógeno por riegos frecuentes (Rf) a plantas (ubicadas en macetas) con bajo tenor de nitrógeno edáfico.

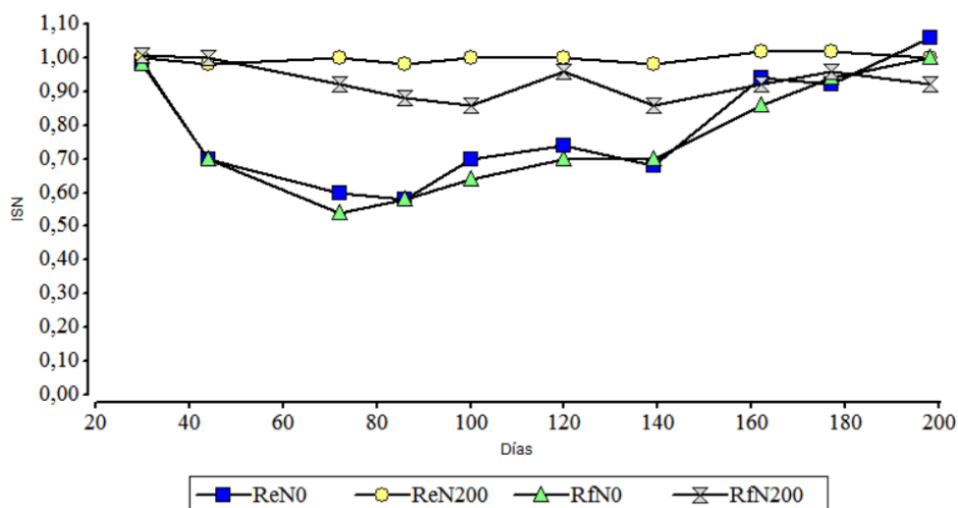


Figura 33. Evolución del ISN según días desde el rebrote por tratamiento.

En la **Tabla 59** se encuentran los valores promedio de ISN de todo el ciclo de crecimiento. Los tratamientos fertilizados mantuvieron altos valores de ISN, coincidente con altos rendimientos. Por otro lado, los tratamientos sin fertilizar presentaron menores ISN, indicando una insuficiencia de nitrógeno, agravada en RfN0.

Tabla 59. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el valor del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC promedio según tratamientos.

Tratamiento	n	ISN	DE	EE	CV
ReN0	5	0,79	0,05	0,02	6,67
ReN200	5	1	0,07	0,03	6,72
RfN0	5	0,76	0,07	0,03	9,6
RfN200	5	0,93	0,04	0,02	3,95

El ANOVA muestra que existieron diferencias estadísticas para el modelo ($p < 0,05$). Además, los resultados arrojaron que no hubo interacción entre los factores ni efecto asociado a las distintas frecuencias de riego ($p > 0,05$), mientras que el ISN manifestó diferencias significativas asociadas a la fertilización nitrogenada ($p < 0,05$). Los promedios

obtenidos de ISN para los dos niveles de fertilización se muestran en la **Tabla 60**. N200 fue estadísticamente superior a N0. Estos resultados indican que los tratamientos testigos presentaron una marcada insuficiencia de nitrógeno durante el ciclo. Además, un mayor IC implica niveles superiores de PB, por lo que podría esperarse que los tratamientos fertilizados manifiesten una mayor calidad forrajera.

Tabla 60. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC promedio según fertilización.

Fert. N	n	ISN	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	0,96	0,063	0,02	6,5	A
N 0	10	0,78	0,062	0,02	7,96	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Dado que el IC varió a través del tiempo y de la fenología del cultivo, resulta de importancia referir los cálculos de ISN a un mismo momento de medición para realizar las comparaciones entre tratamientos.

En los tratamientos no fertilizados los valores más altos de IC ocurrieron a los 30 ddr (mediados de octubre en estado vegetativo). En los fertilizados se detectaron alrededor de los 60 - 70 ddr (mediado del mes de noviembre), momento de máxima diferencia con los no fertilizados en ISN (inicio de elongación de las plantas). Por eso, se calculó el ISN para el 27 de noviembre, donde los tratamientos fertilizados presentaron sus máximos IC. En la **Tabla 61** se encuentran resultados de ISN calculados a partir del tratamiento de mayores IC (ReN200). Los tratamientos sin fertilización muestran un efecto significativo con menores ISN ($p < 0,05$). Al analizar el factor riego, en los tratamientos sin fertilización, se observa una tendencia de menor ISN para las mayores frecuencias de riego (ReN0 y RfN0), aunque sin significancia estadística ($p > 0,05$). En cambio, RfN200 fue estadísticamente menor a ReN200 ($p < 0,05$). Se observa en los resultados que a los 70 ddr la demanda de nitrógeno es mayor, por lo que las diferencias en ISN se acrecientan, por lo que son esperables mayores contenidos de PB en los tratamientos fertilizados.

Tabla 61. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) calculado a partir de IC máximo (27 de noviembre) según tratamientos.

Tratamiento	n	ISN	DE	EE	CV	Dif. med.
ReN200	5	1	0,03	0,01	2,87	A
RfN200	5	0,91	0,08	0,04	8,69	B
ReN0	5	0,59	0,07	0,03	11,39	C
RfN0	5	0,55	0,04	0,02	7,83	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los resultados de IC e ISN implican mayores niveles de nitrógeno para las plantas fertilizadas, a la vez que muestran un grado de insuficiencia de nitrógeno en los tratamientos no fertilizados. Las diferencias se incrementaron a los 60-70 ddr en el contenido de clorofila, y por lo tanto de nitrógeno, entre tratamientos fertilizados y no fertilizados. Esto podría implicar una alta demanda de nitrógeno edáfico para esa etapa de desarrollo de la planta, donde se inicia la elongación, se incrementa la TEF del macollo, se alcanza el máximo número de HV, la máxima longitud foliar del macollo, y se inician fases aceleradas de captación de la radiación y senescencia. La presencia de nitrógeno en este momento, permitió mayores tasas de crecimiento, aceleró la aparición de hojas, adelantó la ocurrencia de fases fenológicas y permitió una mayor acumulación de radiación y biomasa. Además, los fertilizados presentaron mayores IC, por lo que se infieren mayores niveles de PB y calidad forrajera a los 70 ddr. A medida que avanzó el ciclo de crecimiento las diferencias se redujeron.

4.2.8.4. Comparación del IC para hojas nuevas y viejas en tres fechas

Estados fenológicos avanzados (fructificación – diseminación) y progreso de la senescencia foliar fueron detectados en pleno verano (enero – febrero). Por lo que se realizaron mediciones de IC de hojas nuevas y viejas en tres fechas distintas: 14 de enero, 2 de febrero y 25 de febrero. Se compararon los IC entre tratamientos tomados en hojas nuevas y separadamente se hizo lo mismo para las más antiguas.

En la **Tabla 62** se presentan los resultados para los datos tomados el 14 de enero de 2016 (fructificación).

Tabla 62. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.

Tratamiento	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	Vieja	5	18,14	3,35	1,5	18,46
ReN200	Vieja	5	23,22	4,32	1,93	18,63
RfN0	Vieja	5	16,86	1,47	0,66	8,7
RfN200	Vieja	5	21,02	2,62	1,17	12,44
ReN0	Nueva	5	24,29	2,21	0,99	9,11
ReN200	Nueva	5	35,26	3,87	1,73	10,97
RfN0	Nueva	5	23,88	3,59	1,61	15,04
RfN200	Nueva	5	35,23	2,93	1,31	8,32

El ANOVA realizado señala que no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para IC de las hojas viejas (18 a 23 SPAD), según el modelo presentado ($p > 0,05$), aunque cuantitativamente los tratamientos fertilizados superaron en IC a los no fertilizados, revelando cierto efecto residual de la aplicación de nitrógeno sobre la actividad clorofílica de la hoja.

En cambio, cuando se trata de las hojas nuevas con un rango mayor de IC (24 a 35 SPAD), el ANOVA muestra que existieron diferencias estadísticas ($p < 0,05$). No hubo interacción de los factores en análisis (fertilización x riego), pero sí se manifestaron diferencias significativas para la fertilización ($p < 0,05$). Los tratamientos fertilizados fueron superiores a los testigos, con un promedio de $35,25 \pm 3,24$ SPAD para la fecha en consideración (**Tabla 63**).

Tabla 63. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.

Fert. N	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	35,25	3,24	1,02	9,18	A
N 0	10	24,09	2,82	0,89	11,71	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Luego de estos resultados, se realizó un ANOVA en el que se compararon las hojas nuevas y viejas para cada tratamiento, con la finalidad de establecer si existieron diferencias estadísticas para IC entre las hojas nuevas y viejas. En la **Tabla 64** se observan las medidas de resumen para IC en todos los tratamientos y tipos de hojas.

Tabla 64. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.

Tratamiento	Variable	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	IC	Nueva	5	24,29	2,21	0,99	9,11
ReN0	IC	Vieja	5	18,14	3,35	1,5	18,46
ReN200	IC	Nueva	5	35,26	3,87	1,73	10,97
ReN200	IC	Vieja	5	23,22	4,32	1,93	18,63
RfN0	IC	Nueva	5	23,88	3,59	1,61	15,04
RfN0	IC	Vieja	5	16,86	1,47	0,66	8,7
RfN200	IC	Nueva	5	35,23	2,93	1,31	8,32
RfN200	IC	Vieja	5	21,02	2,62	1,17	12,44

El ANOVA indica que existieron diferencias significativas al comparar los dos tipos de hojas. Los resultados obtenidos muestran que hubo interacción entre los factores fertilización y tipo de hoja ($p < 0,05$) (**Tabla 65**). Las hojas nuevas fertilizadas fueron significativamente mayores al resto ($p < 0,05$). No hubo diferencias entre las hojas viejas fertilizadas y las nuevas no fertilizadas. La fertilización prolonga la actividad clorofílica y tiende a mantener la calidad forrajera de las hojas, aún en estado avanzado del ciclo de las plantas. Finalmente las hojas viejas no fertilizadas expresaron los menores valores de IC y fueron significativamente menores al resto.

Tabla 65. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.

Fert. N	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	Nueva	10	35,25	3,24	1,02	9,18	A
N 200	Vieja	10	22,12	3,56	1,13	16,11	B
N 0	Nueva	10	24,09	2,82	0,89	11,71	B
N 0	Vieja	10	17,5	2,53	0,8	14,45	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

El mismo análisis se llevó adelante para un momento más avanzado del ciclo ontogénico (diseminación). Los resultados obtenidos para el 2 de febrero se presentan en la **Tabla 66**, **Tabla 67**, **Tabla 68** y **Tabla 69**. Las respuestas de IC encontradas fueron similares a las obtenidas en las mediciones de enero, y solamente se detectan valores un poco menores.

Tabla 66. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.

Tratamiento	Variable	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	IC	Nueva	5	23,05	2,75	1,23	11,92
ReN200	IC	Nueva	5	34,93	5,09	2,28	14,58
RfN0	IC	Nueva	5	22,9	2,7	1,21	11,78
RfN200	IC	Nueva	5	29,27	2,26	1,01	7,74
ReN0	IC	Vieja	5	17,17	1,51	0,68	8,8
ReN200	IC	Vieja	5	22,93	4,11	1,84	17,93
RfN0	IC	Vieja	5	17,26	2,18	0,97	12,62
RfN200	IC	Vieja	5	20,98	3,35	1,5	15,98

Tabla 67. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según nivel de fertilización.

Fert. N	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	32,1	4,77	1,51	14,85	A
N 0	10	22,98	2,57	0,81	11,18	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 68. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.

Tratamiento	Variable	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	IC	Nueva	5	23,05	2,75	1,23	11,92
ReN0	IC	Vieja	5	17,17	1,51	0,68	8,8
ReN200	IC	Nueva	5	34,93	5,09	2,28	14,58
ReN200	IC	Vieja	5	22,93	4,11	1,84	17,93
RfN0	IC	Nueva	5	22,9	2,7	1,21	11,78
RfN0	IC	Vieja	5	17,26	2,18	0,97	12,62
RfN200	IC	Nueva	5	29,27	2,26	1,01	7,74
RfN200	IC	Vieja	5	20,98	3,35	1,5	15,98

Tabla 69. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para índice de clorofila (IC) de las hojas nuevas según fertilización.

Fert. N	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	Nueva	10	32,1	4,77	1,51	14,85	A
N 200	Vieja	10	21,96	3,68	1,16	16,78	B
N 0	Nueva	10	22,98	2,57	0,81	11,18	B
N 0	Vieja	10	17,22	1,77	0,56	10,27	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

La última medición de IC de hojas nuevas y viejas se realizó el 25 de febrero de 2016 (plantas en diseminación). Cuando se comparó el IC de las hojas nuevas, el ANOVA determinó que no existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Tampoco existieron diferencias entre tratamientos al considerar las hojas viejas ($p > 0,05$). En la **Tabla 70** se presentan las mediadas de resumen de la variable para cada tratamiento.

Tabla 70. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según el tipo de hoja y tratamientos.

Tratamiento	Variable	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	IC	Nueva	5	24,1	3,12	1,39	12,93
ReN200	IC	Nueva	5	26,36	4,68	2,09	17,77
RfN0	IC	Nueva	5	23,03	1,2	0,54	5,21
RfN200	IC	Nueva	5	23,29	2,3	1,03	9,87
ReN0	IC	Vieja	5	16,98	1,92	0,86	11,31
ReN200	IC	Vieja	5	17,79	2,92	1,3	16,4
RfN0	IC	Vieja	5	15,38	1,07	0,48	6,96
RfN200	IC	Vieja	5	18,26	2,34	1,05	12,8

Al comparar el IC de las hojas nuevas y las viejas para todos los tratamientos, el ANOVA mostró diferencias significativas para el modelo. Se detectaron diferencias estadísticas asociadas al tipo de hoja ($p < 0,05$), pero no hubo efecto de la frecuencia de riego y de la fertilización en IC en momentos avanzados del ciclo. En la **Tabla 71** y **Tabla 72** se muestran los resultados correspondientes.

Tabla 71. Medidas de resumen: media, n, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para el índice de clorofila (IC) según tratamientos y tipo de hoja.

Tratamiento	Variable	Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV
ReN0	IC	Nueva	5	23,05	2,75	1,23	11,92
ReN0	IC	Vieja	5	17,17	1,51	0,68	8,8
ReN200	IC	Nueva	5	34,93	5,09	2,28	14,58
ReN200	IC	Vieja	5	22,93	4,11	1,84	17,93
RfN0	IC	Nueva	5	22,9	2,7	1,21	11,78
RfN0	IC	Vieja	5	17,26	2,18	0,97	12,62
RfN200	IC	Nueva	5	29,27	2,26	1,01	7,74
RfN200	IC	Vieja	5	20,98	3,35	1,5	15,98

Tabla 72. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para el índice de clorofila (IC) según tipo de hoja.

Hoja	n	IC (unidades SPAD)	DE	EE	CV	Dif. med.
Nueva	10	24,2	3,14	0,7	12,99	A
Vieja	10	17,1	2,29	0,51	13,36	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los mayores tenores de clorofila se manifestaron en las hojas más nuevas fertilizadas. El avance del envejecimiento foliar a través del ciclo, generó una disminución en el contenido de clorofila a través del tiempo. A pesar de esto, la fertilización realizada al inicio del rebrote, permitió que las hojas más antiguas tengan valores similares a las hojas nuevas no fertilizadas a mediados de enero y principio de febrero. Hacia finales de febrero, en etapas fenológicas avanzadas, las diferencias estadísticas de IC pudieron asociarse a la propia ontogenia de la hoja.

4.2.9. Eficiencia de uso de los recursos (luz, agua y nitrógeno)

4.2.9.1. Eficiencia en la utilización de la radiación fotosintética activa interceptada (EURFAi)

Se calculó la EURFAi al relacionar la biomasa aérea cosechada al final del ciclo de crecimiento con RFAi acumulada. En la **Tabla 73** se presentan los resultados para cada tratamiento. Los valores de la EURFAi varían entre $0,20 \pm 0,02$ y $0,50 \pm 0,05$ g MS/MJ, según los niveles de nitrógeno y riego aplicados. Las eficiencias más altas se presentaron en los tratamientos fertilizados.

Tabla 73. Medidas de resumen: media, desvío estándar, error estándar y coeficiente de variación para la eficiencia de uso de la RFAi (EURFAi) según tratamiento.

Tratamiento	n	EURFAi (g MS/MJ)	DE	EE	CV
ReN0	5	0,17	0,02	0,01	11,74
ReN200	5	0,5	0,05	0,02	9,06
RfN0	5	0,2	0,02	0,01	12,58
RfN200	5	0,53	0,08	0,04	14,92

Existieron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) pero no existió efecto del factor riego ($p > 0,05$) ni tampoco interacción entre factores ($p > 0,05$), mientras que el efecto de la fertilización sobre la variable resultó significativo ($< 0,05$). Los tratamientos fertilizados fueron estadísticamente superiores para la EURFAi (**Tabla 74**). Existió una diferencia de 0,34 g MS a favor de N200 por cada MJ de RFA capturado por la planta. Respuestas similares han sido reportadas para digitaria, con valores entre 0,1 y 0,3 g MS/MJ con diferencias asociadas a los niveles de agua y nitrógeno aplicados durante el crecimiento estival (Frigerio et al., 2009; Privitello et al., 2009). Otros investigadores también han

reportado incrementos en la EURFAi al fertilizar diferentes cultivos forrajeros (Bertram et al., 2012; Colabelli et al., 2011; Marino et al., 2008).

El aumento de la disponibilidad de un recurso limitante, como lo es el nitrógeno en estos suelos, permitió mejorar la utilización de la radiación interceptada.

Tabla 74. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso de la RFAi (EURFAi) de todo el ciclo según nivel del factor fertilización nitrogenada.

Fert. N	n	EURFAi (g MS/MJ)	DE	EE	CV	Dif. med.
N 200	10	0,52	0,06	0,01	12,13	A
N0	10	0,18	0,03	0,01	14,83	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.2.9.2. Eficiencia en la utilización del Agua recibida por precipitaciones y riego (EUA)

Las abundantes precipitaciones ocurridas durante el ciclo y los riegos necesarios realizados para mantener las plantas en macetas con un alto nivel hídrico (Rf) o para evitar su marchitez en momentos de alta demanda ambiental (Re), hicieron que los distintos tratamientos recibieran diferentes niveles hídricos durante su crecimiento. La distinta disponibilidad de agua y nitrógeno, provocaron diferentes EUA (**Tabla 75**). EL ANOVA indicó que existieron diferencias estadísticas asociadas a la interacción de factores (riego x nitrógeno) ($p < 0,05$). ReN200 presentó la mayor EUA y se manifestó significativamente superior al resto ($p < 0,05$). Los tratamientos no fertilizados (ReN0 y RfN0) no tuvieron diferencias entre ellos ($p > 0,05$), y fueron inferiores a los fertilizados ($p < 0,05$). Las diferencias establecidas entre RfN200 y ReN200 podrían atribuirse a que los aumentos en el agua para ese nivel de nitrógeno aplicado no generaron suficiente diferencia en la ABA, y por lo tanto, la EUA fue mayor para ReN200. Al mismo tiempo, los bajos valores de EUA de RfN0 y ReN0, y la falta de diferencias entre ellos, son indicio del efecto favorable de la fertilización nitrogenada, y de cómo el aumento de un factor limitante (nitrógeno) permitió una mejor utilización de otros recursos (EUA y EURFAi). Privitello et al. (2009) reportaron valores entre 0,29 y 1,34 g MS/m².mm para digitaria fertilizada y regada. De manera similar, encontraron que la fertilización permitió alcanzar mayores EUA.

Tabla 75. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la eficiencia de uso del agua (EUA) según tratamiento.

Tratamiento	n	EUA (g MS/m ² .mm)	DE	EE	CV	Dif. de medias
ReN200	5	0,65	0,05	0,02	7,84	A
RfN200	5	0,56	0,1	0,02	17,17	B
RfN0	5	0,23	0,02	0,02	8,86	C
ReN0	5	0,21	0,03	0,02	15	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.2.9.3. Eficiencia agronómica en la utilización del nitrógeno aplicado (EAN)

La EAN se calculó a partir de las diferencias en ABA entre los fertilizados y no fertilizados en relación al nitrógeno total aplicado. De esa manera, se establecieron EAN para las dos frecuencias de riego. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las frecuencias de riego para la EAN ($p > 0,05$) (**Tabla 76**). Dado que el régimen hídrico acontecido en el ciclo de crecimiento del cultivo podría haber enmascarado el efecto de las frecuencias de riego planteadas, las EAN resultan muy similares. En promedio, la EAN fue de $25,54 \pm 4,68$ g MS/ g de N. Estos resultados se encuentran dentro del rango informado por Veneciano y Terenti (1997) con valores entre 18,9 y 44,57 g MS/ g de N para diferentes años y frecuencias de defoliación para digitaria fertilizada con 127 Kg N/ha. A diferencia de lo obtenido aquí, para un período estival con menores precipitaciones (274 mm) Privitello et al. (2009) informaron una mayor EAN para parcelas de digitaria bajo riego comparadas con situación de secano.

Tabla 76. Media, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias para la eficiencia agronómica de la utilización del nitrógeno aplicado (EAN) según nivel de factor riego.

Tratamiento	n	EAN (g MS/g de N)	DE	EE	CV	Dif. medias
Re	5	25,76	3,02	1,35	11,72	A
Rf	5	25,32	6,33	2,83	25	A

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.2.10. Síntesis de resultados del primer ensayo

A partir del esquema de Lemaire y Chapman (1996) donde se relacionan las variables morfogénicas y estructurales, se sintetizan los resultados obtenidos de las diferentes

variables y los efectos del ambiente sobre cada una de ellas, en conjunto con las interrelaciones (Figura 34).

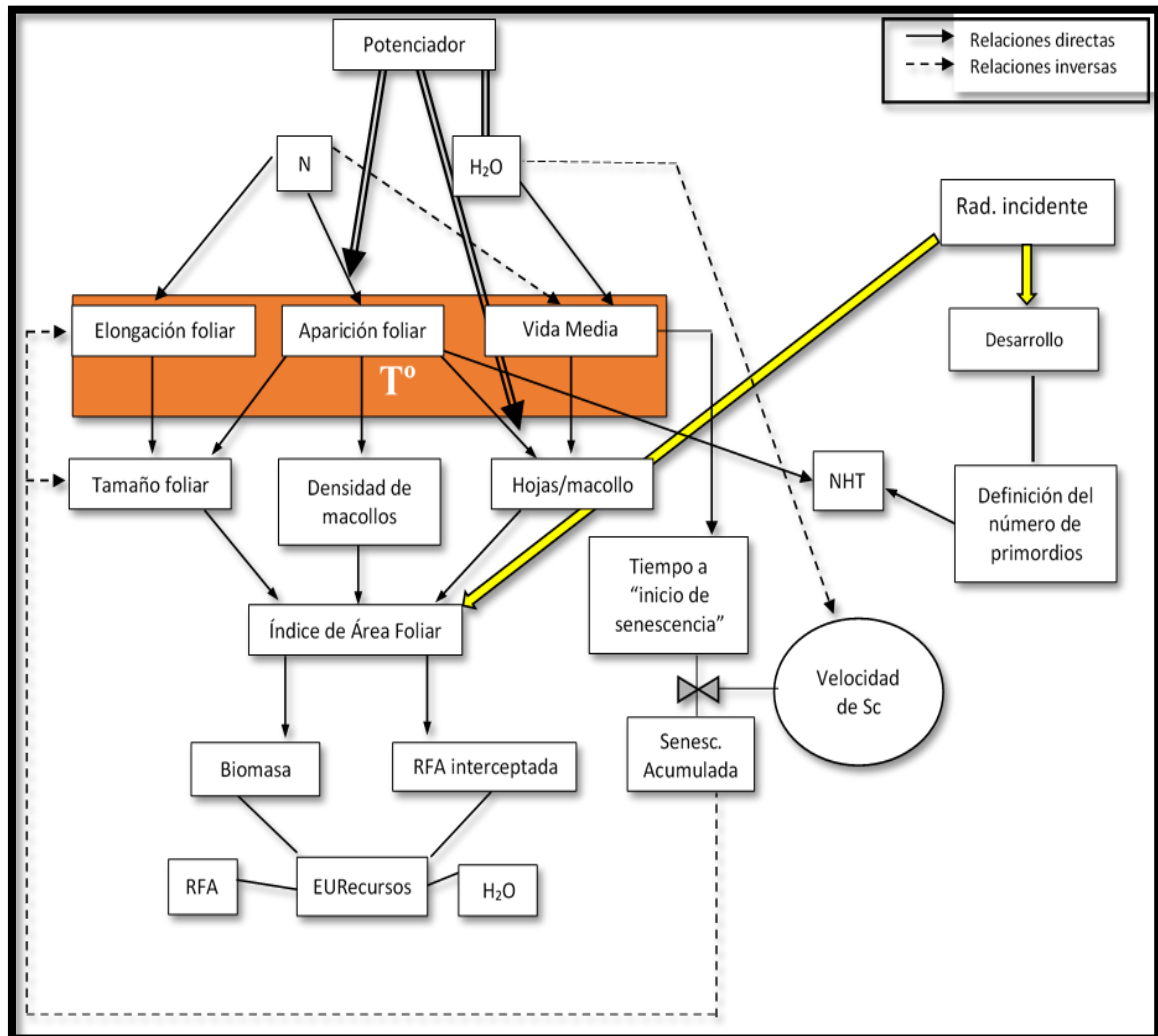


Figura 34. Modelo gráfico de la síntesis de resultados a partir de esquema de Lemaire y Chapman (1996).

La temperatura juega un rol fundamental afectando todas las características morfogénicas y estructurales, y ha sido ampliamente estudiada (Anslow, 1966; Lemaire y Chapman, 1996; Lemaire et al., 2000). La TEF, la VMF y la velocidad de aparición de hojas respondieron a la acumulación térmica a través del tiempo.

La fertilización acelera la aparición de hojas y el crecimiento, y también el inicio de la senescencia y por ende, la ocurrencia de la VMF. El agua puede ser analizada en dos sentidos. Por un lado, bajo situaciones puntuales de limitación hídrica, las plantas fertilizadas aceleran la senescencia, como respuesta al mayor porte alcanzado (mayor extensión foliar, ABA y velocidad de aparición foliar) y por lo tanto, a requerimientos de agua superiores. Por otro lado, un mayor aporte de agua durante el ciclo de crecimiento prolongó la vida de

los tejidos foliares con o sin aplicación de fertilizante nitrogenado, al aumentar la VMF y disminuir el avance de la senescencia. Al mismo tiempo, la acumulación foliar ocurrió anticipadamente por efecto combinado de fertilización nitrogenada y la cantidad agua (efecto potenciador).

Las modificaciones de las características morfogénicas ocasionadas por los factores de estudio, afectaron la expresión de las variables estructurales de la pastura. El número de hojas verdes o vivas del macollo, dependen directamente de la velocidad de aparición de hojas y de la VMF de las hojas. Por eso, la fertilización con nitrógeno puede aumentar el NHV al incrementar la velocidad de aparición de hojas cuando esto va acompañado de altos niveles hídricos que permitan mantener el tejido vivo (RfN200: 5,27 HV/macollo; para el resto de los tratamientos: 4,11 HV/macollo).

El tamaño foliar del macollo para un momento dado depende de la cantidad de hojas presentes, de la longitud que estas tienen y de la acumulación de material senescente. Por eso, existe un efecto directo de la fertilización, donde el tamaño aumentó por las mayores TEF y la mayor velocidad de aparición de hojas. Por otro lado, un aporte extra de agua favoreció aún más dicho incremento debido al retraso de senescencia. Esto último implica una menor acumulación de material senescente, que se relaciona inversamente con el tamaño foliar (mayor), a la vez que permitió que se acumule un número de hojas verdes superior para un momento dado (efecto potenciador por retraso de VMF), es decir, aparecieron más rápidamente las hojas por efecto del nitrógeno y se mantuvieron verdes por efecto del agua.

Por otro lado, los resultados indican que la fertilización adelantó el comienzo de las etapas reproductivas y podría aumentar la duración de la antesis. Mientras que la elongación comenzó al mismo tiempo, el inicio de la aparición de la inflorescencia se adelantó en los fertilizados, debido a una menor duración de la fase de elongación.

Los cambios ocasionados en la fenología del cultivo, modificaron la expresión del número final de hojas alcanzados durante todo el ciclo. La fertilización nitrogenada aumentó la cantidad de macollos reproductivos por planta dada la mayor disponibilidad de recursos para la reproducción, a la vez que aceleró el crecimiento, por lo que la duración del período de acumulación foliar se acortó. Los individuos que se diferenciaron dejaron de formar nuevos primordios foliares por lo que el número final de hojas fue menor y quedó definido con anterioridad. La fertilización aumentó la cantidad de macollos que llegaron a diferenciarse reproductivamente y por lo tanto, redujo el número total de hojas por macollo.

Las plantas fertilizadas, a pesar de generar menor número total de hojas durante todo el ciclo, y presentar menor VMF, lograron mayores niveles de intercepción de la radiación, RFAi y tasa de captura de radiación. Esto permitió desarrollar una mayor capacidad fotosintética, lo que resultó en un desarrollo más importante de la canopia (IAF) y por lo tanto, más biomasa producida. El aumento de la oferta de un recurso limitante, como lo es el nitrógeno en estos suelos, permitió mejorar la utilización de otros recursos ambientales (EURFAi y EUA). Esta respuesta a la intercepción de la radiación es generada por las diferencias logradas en la estructura de la planta.

Los resultados de IC e ISN para las plantas fertilizadas indicaron que estas presentan niveles más elevados de nitrógeno en diferentes momentos del ciclo, que se igualaron solamente al inicio del rebrote y hacia el otoño. También, se observó que alrededor de los 70 ddr se encuentran los niveles más altos de nitrógeno en las hojas. Por lo tanto, podría esperarse una mayor calidad nutricional cuando se fertiliza digitaria, y una respuesta positiva en el ganado cuando se utiliza en el momento oportuno.

Los mayores tenores de clorofila, y por lo tanto de proteína bruta, se manifestaron en las hojas más nuevas fertilizadas. El avance del envejecimiento foliar a través del ciclo, generó una disminución en el contenido de clorofila a través del tiempo. Esto hace que la fertilización y el momento de utilización de la pastura puedan utilizarse como herramientas para ajustar la producción y calidad del forraje a los requerimientos del sistema ganadero.

Los resultados aquí obtenidos y los reportados por otros autores en ésta y en otras especies corroboran la influencia de la temperatura y la genética sobre la morfogénesis y estructura de las plantas forrajeras. Al mismo tiempo, las características morfogénicas y estructurales se ven afectadas por otras variables ambientales como las estaciones del año, los efectos interanuales, la fertilización y los sitios de cultivo (**Tabla 77**).

Tabla 77. Variables morfológicas y estructurales reportadas por diferentes autores para distintas especies.

Especie	Observaciones	Autores
<i>Digitaria eriantha</i>	Características morfológicas (TEF, TEFm, IAH, Fc, TAH, VMF) y estructurales (LLF, NHV) según año y estación de crecimiento	(Rossi et al., 2015a) (Privitello et al., 2012) (Borcosqui et al., 2012)
<i>Eragrostis curvula</i>	Características morfológicas (TEF, IAH, Fc, VMF) y estructurales (LLF, NHT, NHV) según estación de crecimiento y año de medición	(Privitello et al., 2012) (Falco, 2017)
<i>Panicum coloratum</i>	Características morfológicas (IAH, Fc, TAH, VMF) y estructurales (LLF, NHV) según año, lugar y estación de crecimiento	(Privitello et al., 2012) (Ferri et al., 2008) (Lucero, 2015) (Lucero et al., 2015)
<i>Tetrachne dregei</i>	Características morfológicas (TEF, TEFm, IAH, Fc, TAH, VMF) y estructurales (NHT, NHV) según año de crecimiento	(Lucero, 2015) (Lucero et al., 2015)
<i>Pennisetum purpureum</i>	Características morfológicas (TEF, TAH) y estructurales (NHV) según estación de crecimiento y posición del macollo	(Paciullo et al., 2003)
<i>Pennisetum americanum</i>	Características morfológicas (TAH, Fc, TSc) y estructurales (NHV) según altura de pastoreo	(Martins et al., 2005)
<i>Panicum maximum</i> cv Mombaza	Características morfológicas (TEFm, TAH) según estación húmeda o seca	(Ramírez Reynoso et al., 2010)
<i>Panicum maximum</i> cv Mombaza	Características morfológicas (TEFm, IAH, TAH, Fc) y estructurales (NHT, LLFm, NHV) según nivel de fertilización	(Garcez Neto et al., 2002)
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania	Características morfológicas (TEF, IAH, TAH) y estructurales (LLF, NHV) según nivel de fertilización	(Oliveira et al., 2007)
<i>Brachiaria decumbens</i>	Características morfológicas (TEFm, IAH, TSc) y estructurales (NHT, NHV) según nivel de fertilización	(Da Silva et al., 2012)
<i>Axonopus aureus</i>	Características morfológicas (TEFm, TAH, TSc) y estructurales (LLF, NHV) según nivel de fertilización	(Costa et al. 2013)
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Características morfológicas (TEF, TAH, Fc) según nivel de fertilización	(Carvalho Santos et al., 2009)
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	Características morfológicas (TEF, TAH, Fc) según fertilización	(Carvalho Santos et al., 2009)

4.3. Ensayo 2

4.3.1. Acumulación de biomasa

Los tratamientos otorgaron un número variable de cortes durante el ciclo, según fueron las frecuencias planteadas. Para la frecuencia a tiempo fijo (CTF) se realizaron seis cortes en total, mientras que para la frecuencia que contemplaba la VMF (CVMF), se hicieron cuatro, para evaluar la producción total de MS (CCC) se realizó un solo corte al final del ciclo. Para CTF, en promedio las defoliaciones se realizaron cada $30,4 \pm 2,07$ días, mientras que para VMF fue más variable, y se hicieron cada $55,25 \pm 6,95$ días. En este último caso, dependía del momento en el que comenzaba la senescencia.

En el momento de realizar el corte, el tratamiento CTF tuvo en promedio $3,10 \pm 0,42$ hojas/macollo, mientras que CVMF presentó $4,92 \pm 0,50$ hojas/macollo.

4.3.1.1. Acumulación de biomasa aérea total (ABA)

Para los tratamientos CTF y CVMF, se calculó la acumulación de biomasa aérea total (ABA) realizando la sumatoria de los cortes para cada repetición. En la **Tabla 78** se presentan los resultados obtenidos. La mayor producción de materia seca se obtuvo cuando se realizaron cortes al inicio de la senescencia ($p < 0,05$). En segundo lugar se presenta el tratamiento con un solo corte al final del ciclo (CCC), con una producción intermedia de biomasa aérea, y finalmente el tratamiento CTF fue estadísticamente menor a los demás ($p < 0,05$). La producción de biomasa aérea fue 1,6 veces mayor en CVMF al compararlo con CTF y un 1,21 mayor respecto de CCC. Esto representa un 60% más de biomasa aérea a favor de la frecuencia de corte que respeta la VMF comparado con una alta frecuencia de corte (CTF).

Tabla 78. Media, n, número de cortes, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) según tratamiento.

Tratamiento	n	Número de cortes	ABA (g MS/m ²)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	3	4	1100,41	73,18	26,59	6,65	A
CCC	3	1	911,73	42,36	26,59	4,65	B
CTF	3	6	692,73	0,12	26,59	0,02	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Para la misma región de estudio, en un suelo Ustipsament típico y con menores precipitaciones (500 mm anuales), Veneciano et al. (2006) evaluaron la producción de MS durante tres años para una pastura de digitaria sometida a distintas frecuencias de defoliación (a tiempo fijo cada 28, 35 y 42 días, y un corte al final del ciclo), y estos autores encontraron menores niveles de ABA (valores extremos para 3 ciclos y todos los tratamientos: entre 270 y 700 g MS/m²). Al mismo tiempo, los resultados fueron discordantes en cuanto a que obtuvieron la mayor producción al realizar un solo corte al final del ciclo para los tres años, en contraposición a las medidas en este ensayo en CCC y CVMF. Esta misma divergencia fue encontrada en otro ensayo, donde Veneciano y Terenti (1997) hallaron que las mayores producciones de biomasa fueron obtenidas para tratamientos con un corte al final del ciclo. La baja producción acumulada de CCC puede atribuirse al lavado del escaso nitrógeno edáfico en las parcelas, lo que inhibió la capacidad reproductiva de la especie, y por ende la generación de cañas florales que impactó en ABA, (60 % promedio de los trabajos citados vs 12 % en CCC). Por otro lado, el mayor nivel pluviométrico acontecido durante el ciclo de este estudio (900 mm vs 437 a 550 mm) no perjudicó el rendimiento de hojas.

Producciones de MS más altas fueron reportadas por Privitello et al. (2009), en Villa Mercedes (SL), quienes estudiaron el potencial productivo de la especie y encontraron producciones máximas de 722 g MS/m² para digitaria bajo riego y fertilizada (300 Kg N/ha), sólo para el período estival (enero).

Menores producciones anuales (295 y 405 g MS/m²) fueron reportadas para digitaria por Gargano et al. (2001) en un estudio de cuatro años en la región semiárida sur de la Argentina (Bahía Blanca, Bs. As.) con 630 mm de precipitaciones promedio, al realizar un manejo flexible (cortes cada vez que la altura modal alcanzaba los 25 a 30 cm), donde lograron un promedio de 3,8 defoliaciones por ciclo (similar a lo acontecido para CVMF).

Al igual que los resultados obtenidos en esta tesis, diferentes autores concluyen que el rendimiento de forraje se reduce al aumentar la frecuencia de defoliación (CTF), tanto para las pasturas perennes en general (Ferraro y Oesterheld, 2002) como para el caso de digitaria en particular (Gargano y Adúriz, 2005; Veneciano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997).

4.3.1.2. Acumulación de biomasa aérea expresada como promedio de todos los cortes

Los dos tratamientos a los que se les aplicaron distintos cortes durante el ciclo de crecimiento (CTF y CVMF), generaron una oferta de forraje diferente. Se calculó el promedio de MS producida de todos los cortes para cada tratamiento. De esta manera se buscó establecer si existieron diferencias estadísticas en la cantidad de forraje disponible por corte para los dos tratamientos.

Los resultados para la ABA promedio ofrecida por corte para cada tratamiento se presentan en la **Tabla 79**. Se observa una alta variabilidad en los coeficientes de dispersión (DS, EE y CV) respecto de la media, debido a que la producción en cada corte fue variable y propia al momento del ciclo en el que se realizó. Se observa que CVMF fue estadísticamente superior y ofreció una mayor biomasa aérea por corte. Igualmente, cabe aclarar que la mayor frecuencia de corte para CTF permitió que se realizaran seis defoliaciones en lugar de cuatro. A pesar de esto último, las diferencias marcadas en la producción acumulada indican que la mayor cantidad de cortes realizados a CTF no fueron suficientes para compensar la producción final de todo el ciclo. Una frecuencia de corte elevada y no ajustada a las características morfogénicas y estructurales de la planta, hicieron que el tiempo de descanso no fuera suficiente para alcanzar la máxima acumulación de biomasa aérea.

Tabla 79. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) por corte según tratamiento.

Tratamiento	n	ABA (g MS/m ² .corte)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	12	275,1	126,51	25	45,99	A
CTF	18	115,46	34,34	20,41	29,74	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.3.1.3. Acumulación de biomasa aérea discriminada por corte

En la **Tabla 80** se presentan los resultados de la producción de biomasa aérea total para cada tratamiento, donde se discrimina la ABA para cada corte. En ella, se pueden observar los resultados del ANOVA y del test LSD - Fisher, donde se verifican las diferencias establecidas entre cortes para un mismo tratamiento. En el caso de CTF, la mayor producción se alcanzó en el cuarto corte, realizado a inicios de febrero, donde se acumuló el

crecimiento del mes de enero, y alcanzó valores de $176,00 \pm 22,54$ g MS/m² ($p < 0,05$). Para CVMF, la mayor ABA se consiguió en el segundo y tercer corte ($p < 0,05$) ocurrido a finales de diciembre (2°) y a finales de febrero (3°). En ambos casos (CTF y CVMF), las últimas defoliaciones realizadas resultan significativamente menores ($p < 0,05$). Veneciano et al. (2006) encontraron resultados similares, donde los cortes a mitad del ciclo, resultan de mayor producción de MS, y los últimos de menor.

Tabla 80. Media, desvío estándar y diferencia de medias (LSD Fisher) para la acumulación de biomasa aérea (ABA) de cada tratamiento discriminado por corte. Comparación dentro de cada fila.

Tratamiento	Corte (g MS/m ²)						
	1	2	3	4	5	6	
CTF	Media	101,4 BC	110,67 B	119,33 B	176 A	112 B	73,33 C
	DE	±15,21	±12,7	±15,01	±22,54	±15,62	±11,02
CVMF	Media	204,67 B	374 A	402 A	119,73 C		
	DE	±29,14	±17,09	±64,9	±14,05		
CCC	Media	911,73					
	DE	42,36					

En la fila, medias seguidas de distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$)

4.3.1.4. Acumulación de biomasa de hojas (ABH)

Los distintos tratamientos presentaron diferentes valores para acumulación de hojas al considerar la biomasa producida durante todo el ciclo (**Tabla 81**). El ANOVA realizado muestra que existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0,05$). En valores absolutos, CVMF ofreció la mayor masa de MS de hojas durante los 4 cortes. CCC presentó una menor producción que CVMF, y fue significativamente mayor a CFT. Este último tratamiento, presentó la menor biomasa aérea de hojas durante el ciclo de crecimiento a través de los seis cortes realizados. Veneciano et al. (2006) encontraron valores de ABH menores (entre 290,6 y 409,3 g MS/m²), pero similares en cuanto a que un solo corte al final del ciclo y una alta frecuencia de defoliación (cada 28 días) resultan en una menor producción de biomasa de lámina foliar, y al mismo tiempo, frecuencias de defoliación intermedias (32 y 42) resultan en mayores ABH.

Tabla 81. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa de hojas (ABH) según tratamiento.

Tratamiento	n	ABH (g MS/m ²)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	3	1018,87	72,44	24,06	7,11	A
CCC	3	801,00	24,43	24,06	3,05	B
CTF	3	675,76	0,94	24,06	0,14	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente (p<0,05).

4.3.1.5. Acumulación de biomasa aérea de tallos (ABt)

La producción de tallos fue diferente para los distintos tratamientos (**Tabla 82**). Durante el ciclo de crecimiento, CCC mostró una mayor producción de tallos que el resto de los tratamientos (p<0,05). El tratamiento CVMF mantuvo una producción intermedia de ABt, siendo significativamente mayor a CTF y menor que CCC (p<0,05). La mayor frecuencia de corte mantuvo la menor producción de tallos, lo que implica una mejor calidad en el forraje ofertado. En coincidencia con estos resultados Veneciano y Terenti (1997) informaron que el aumento en la frecuencia de defoliación disminuyó la producción de biomasa de tallos.

Tabla 82. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la acumulación de biomasa de tallos (ABt) según tratamiento.

Tratamiento	n	ABt (g MS/m ²)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CCC	3	110,73	18,38	6,33	16,59	A
CVMF	3	81,54	1,08	6,33	1,32	B
CTF	3	16,97	0,85	6,33	5,01	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente (p<0,05).

Mientras que las diferencias entre CVMF y CCC marcan un 35,8 % más de ABt para CCC, el tratamiento CVMF fue 4,80 veces mayor en la producción de tallos al compararlo con CTF.

4.3.2. Relación tallo:hoja (T/H)

Teniendo en cuenta la producción acumulada de tallos y hojas de los tratamientos, se calculó la relación tallo:hoja (T/H) para establecer diferencias en la calidad del forraje ofertado en cada caso y determinar diferencias en la estructura vertical de la pastura. Los

valores más altos de esta relación indican mayor cantidad de tallo, lo que está relacionado con un cambio de estructura. En la **Tabla 83** se muestran los resultados obtenidos. Se puede apreciar que CCC generó la mayor relación T/H y fue significativamente mayor a los restantes tratamientos ($p < 0,05$). A su vez, CVMF fue estadísticamente superior a CTF, y este último presentó la menor relación T/H ($p < 0,05$). La mayor frecuencia de defoliación en CTF impidió que la pastura llegara a generar una producción importante de varas florales, mientras que CVMF mantuvo una situación intermedia. Estos resultados implican que la estructura de la pastura al momento del corte fue diferente.

Tabla 83. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD Fisher) para la relación tallo:hoja en base seca (T/H) según tratamiento.

Tratamiento	n	T/H	DE	EE	CV	Dif. de medias
CCC	3	0,138	0,0192	0,01	13,96	A
CVMF	3	0,062	0,0042	0,01	6,75	B
CTF	3	0,022	0,0006	0,01	2,59	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Al analizar la relación T/H por corte (**Figura 35**), se observa que para CTF y CVMF, durante el primer corte no se detectó producción de tallos (30/10/15 para CTF, y 13/11/15 para CVMF), y por lo tanto T/H fue cero. Esto último coincide con lo reportado por Veneciano et al. (2005) al estudiar el crecimiento acumulado de digitaria, donde cortes que acumularon el crecimiento desde el rebrote hasta mediados de noviembre reportaron una producción de tallo nula, y esta fracción sólo se presentó cuando se acumuló forraje desde el inicio del ciclo hasta inicios de diciembre. CVMF presentó valores elevados de T/H durante el segundo y tercer corte (28/12/15 y 25/02/16), pero en el último (cuarto) corte (25/04/16) mantuvo otra vez una baja relación T/H. Para CTF también existió cierto grado de variación en la relación T/H. Esta última, ascendió desde el primer corte hasta el tercero (30/12/15), y luego descendió nuevamente en los cortes sucesivos (01/02/16; 02/03/16; 30/03/16).

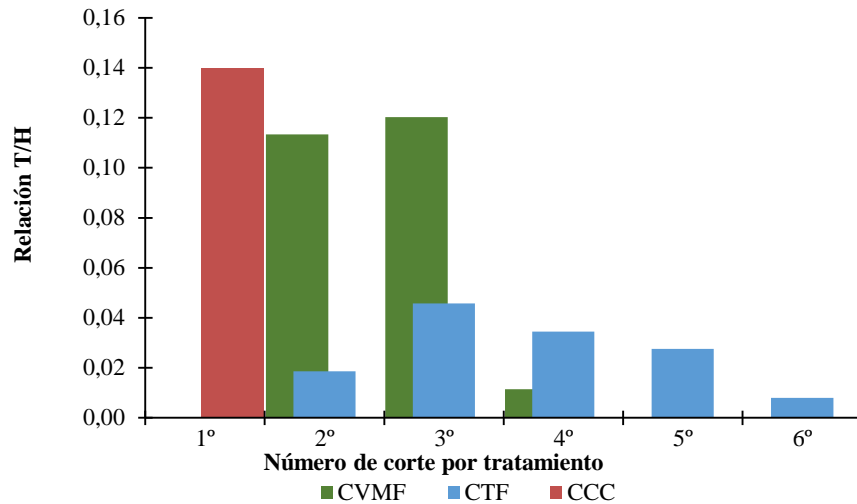


Figura 35. Valores de la relación tallo:hoja en base seca (T/H) por corte según tratamiento.

La relación T/H varió durante el ciclo de crecimiento, aún con altas frecuencias de defoliación. A su vez, una defoliación cada 30 días permitió disminuir la proporción de tallos en la planta al momento del corte, que podrían asociarse a una mejor calidad nutricional de la pastura ofertada. Resultados similares con disminución de la relación T/H por incrementos en la frecuencia de defoliación fueron reportados por Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez (2009) en *Pennisetum purpureum* cv. KING GRASS. Otros autores también han encontrado aumentos en la calidad de digitaria en la región semiárida al aumentar la frecuencia de defoliación (Veneciano et al., 2006; Veneciano y Terenti, 1997).

4.3.3. Densidad de macollos al final del ciclo de crecimiento

Se midió la densidad de macollos para cada tratamiento con la finalidad de establecer si las frecuencias de defoliación marcaron alguna diferencia en la estructura horizontal de la pastura al final del ciclo (**Tabla 84**).

Tabla 84. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la densidad de macollos según tratamiento.

Tratamiento	n	Densidad de macollos (macollos/m ²)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CTF	3	3772,56	856,96	331,76	22,72	A
CCC	3	2489,89	226,35	331,76	9,09	B
CVMF	3	2263,54	452,71	331,76	20	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Los resultados del ANOVA y test LSD, mostraron diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$). Los mayores valores de densidad los presentó CTF (3772 ± 857 macollos/m²) y fue

estadísticamente superior al resto de los tratamientos. No existieron diferencias significativas entre CVMF y CCC ($p > 0,05$) 2263 ± 453 y 2490 ± 226 macollos/m², respectivamente. Altas frecuencias de corte generaron un aumento de la densidad de macollos y modificaron la estructura de la pastura. Esto probablemente ocurrió por forzar la aparición de nuevas hojas al no respetar la velocidad de aparición foliar, y así promover la generación de nuevos macollos de menor tamaño provenientes de las yemas axilares. Una frecuencia de corte establecida según la morfogénesis de la especie (VMF), no alteró la densidad de la pastura durante el ciclo de evaluación.

Los resultados obtenidos son coincidentes con los de otros investigadores que demuestran cambios en la estructura horizontal de la pastura por efecto de la frecuencia de corte (Ayala Torales et al., 2000; Matthew et al., 1996; Saldanha et al., 2010; Sbrissia et al., 2001). Los mecanismos de compensación fenotípica de la especie no fueron suficientes cuando la frecuencia de defoliación fue alta (30 días) por lo que la densidad de macollos aumentó pero la producción de biomasa fue menor.

4.3.4. Cambios en IAF, intercepción de radiación y acumulación de RFAi

4.3.4.1. Intercepción de la radiación (IR)

La intercepción de la radiación a través del tiempo de los diferentes tratamientos se observa en la **Figura 36a** y **b** (los modelos matemáticos y sus coeficientes se encuentran en la **Tabla 14 del anexo I**).

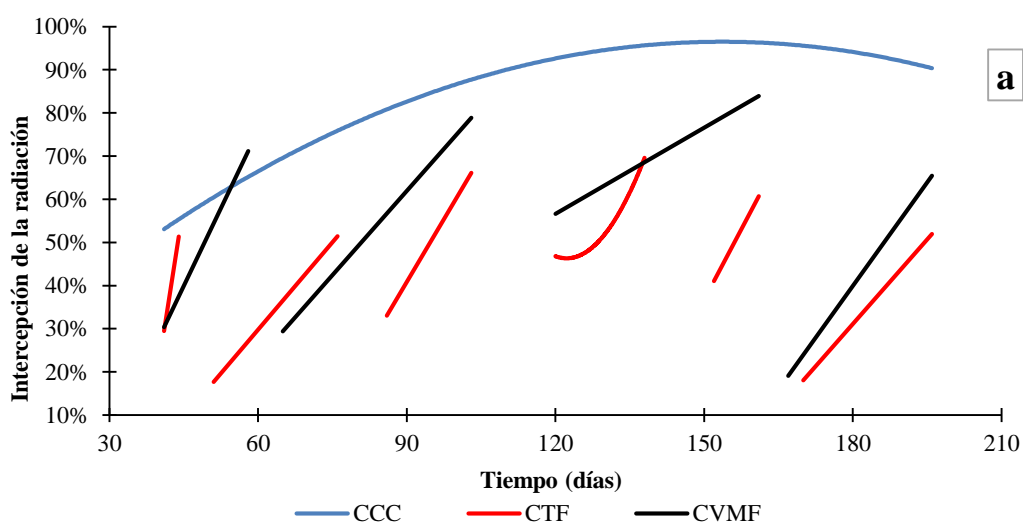


Figura 36a. Relación entre la intercepción de la radiación y días después del rebrote (ddr) según frecuencia de defoliación. Modelos de regresión (a).

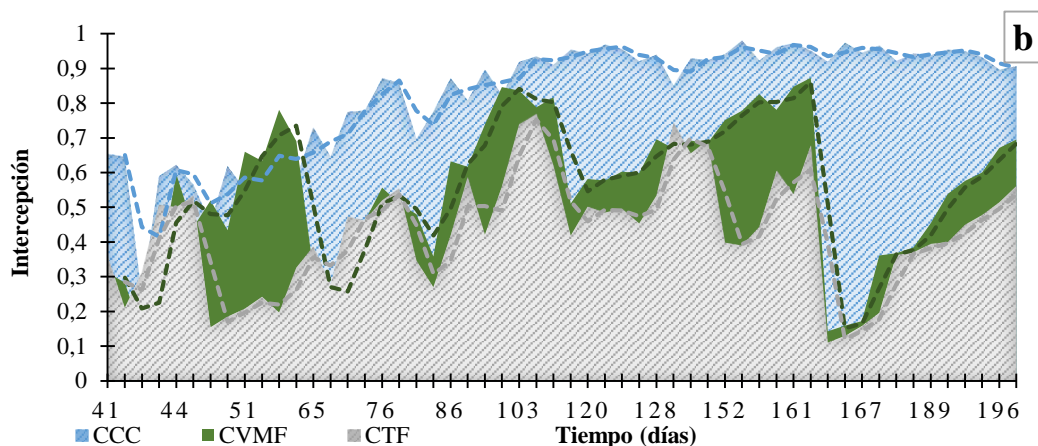


Figura 36b. Relación entre la intercepción de la radiación y días después del rebrote (ddr) según frecuencia de defoliación. Gráfico de áreas (b).

Para CCC, se puede apreciar que la captación de radiación aumenta hasta alcanzar el 0,95 (95%) de intercepción aproximadamente a los 130 ddr, y este valor máximo se mantiene hasta los 180 ddr. En la mayor parte del ciclo CVMF fue superior a CTF en la captación de la radiación por contemplar un período de recuperación foliar más prolongado (mayor descanso).

Al considerar los máximos valores de IR alcanzados durante el ciclo de crecimiento por los diferentes tratamientos, los resultados del ANOVA realizado muestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) (**Tabla 85**). CCC alcanzó un máximo de 97% de IR, y fue significativamente superior al resto de los tratamientos ($p < 0,05$). CTF fue estadísticamente menor a CCC y CVMF ($p < 0,05$), mientras que CVMF mantuvo un comportamiento intermedio ($p < 0,05$).

Tabla 85. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la máxima intercepción de la radiación alcanzada durante el ciclo de crecimiento (IR máx) según tratamiento.

Tratamiento	n	IR máx	DE	EE	CV	Dif. de medias
CCC	3	0,97	0,01	0,02	0,82	A
CVMF	3	0,85	0,02	0,02	2,23	B
CTF	3	0,73	0,04	0,02	5,18	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Defoliaciones al inicio de la senescencia (CVMF), permitieron alcanzar mayores porcentajes de intercepción, lo que repercutió favorablemente en la cantidad de forraje cosechado. Resultados similares se encontraron para el ciclo 2013/2014 con intercepciones máximas de 80% para plantas con cortes en VMF (en promedio cortes cada 644°C día y 65

días) y de 65% con cortes cada 30 días (Rossi et al., 2015b). En coincidencia con estos resultados, Peralta et al. (2011) encontraron que defoliaciones más frecuentes en trigo doble propósito sembrado tempranamente redujeron la proporción de radiación interceptada.

4.3.4.2. Radiación fotosintética activa interceptada (RFAi) acumulada por la canopia

La RFAi total se calculó mediante una interpolación de IR entre las mediciones para cada tratamiento y su relación con la RFA de cada medición. En la **Tabla 86** se muestran los resultados obtenidos, el tratamiento que más radiación capturó durante todo el ciclo fue CCC, que acumuló $1431,44 \pm 33,03$ MJ/m², y fue estadísticamente superior a CTF y CVMF ($p < 0,05$). Las defoliaciones realizadas en función de la VMF (CVMF) lograron una posición intermedia y CTF fue el menor en cantidad de radiación capturada durante el ciclo de crecimiento ($p < 0,05$). El manejo de la defoliación de CVMF permitió una captura más alta del recurso lumínico cuando se lo compara con frecuencias de corte mayores. Mediciones realizadas durante el ciclo 2013/2014 permitieron obtener resultados similares (842, 1072 y 1648 MJ/m² para CTF, CVMF y CCC respectivamente) para la acumulación de la RFA (Rossi et al., 2015b). Peralta et al. (2011) también encontraron reducciones en la acumulación de RFAi por efecto de la defoliación en trigo doble propósito en Balcarce.

Tabla 86. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamiento	n	RFAi ac (MJ/m ²)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CCC	3	1431,44	33,03	28,53	2,31	A
CVMF	3	846,29	49,87	28,53	5,89	B
CTF	3	642,32	59,96	28,53	9,34	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Para establecer si existieron diferencias estadísticas entre CTF y CVMF en la captura de radiación en cada defoliación, se estableció el promedio de radiación capturada de todos los cortes para cada tratamiento. En la **Tabla 87** se detallan los resultados donde se puede observar altos valores de variabilidad en las medidas de dispersión respecto de la media (DE, EE y CV). Esto se debe a que la RFAi ac por corte fue variable durante el ciclo como resultado de una diferente capacidad para captar la radiación (IAF) y distintos niveles de radiación incidente.

Tabla 87. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (LSD) para la RFA interceptada acumulada (RFAi ac) por corte según tratamientos.

Tratamiento	n	RFAi ac por corte (MJ/m ² .corte)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	12	211,58	107,03	21,6	50,59	A
CTF	18	107,05	35,68	17,63	33,33	B

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

El análisis de la varianza y el test a posteriori (LSD Fisher) indican que CVMF fue significativamente superior para la RFAi ac por corte ($p < 0,05$). La defoliación realizada considerando la VMF de la especie, permitió acumular mayor cantidad de RFAi por corte. A pesar de que CTF mantuvo más cortes durante el ciclo (6 cortes vs 4 cortes), esto no le permitió compensar la menor captura de RFAi por corte, ya que al final del crecimiento, CVMF tuvo una RFAi total mayor. Estos resultados coinciden con lo obtenido durante el ciclo 2013/2014 (Rossi et al., 2015b).

Al igual que los resultados obtenidos en el ensayo 1, se observa que para CCC la RFAi se acumula en función del tiempo, en una relación de tercer grado que genera una curva sigmoide (**Figura 37 a**; los modelos matemáticos y sus coeficientes se encuentran en la **Tabla 15 del anexo I**). La etapa inicial de lenta acumulación, se inicia con el rebrote y continúa hasta acercarse a los 50 ddr. Hacia el final del ciclo se llega a una meseta, donde CCC alcanza una acumulación de 1400 MJ/m².

En los tratamientos que recibieron diferentes frecuencias de corte, en el primer corte se pueden detectar dos fases, una inicial donde RFAi ac aumenta lentamente, y otra lineal, donde el incremento de la variable es mayor, mientras que en los cortes posteriores muestran una tendencia exponencial (**Figura 37 b**; los modelos matemáticos y sus coeficientes se encuentran en la **Tabla 15 del anexo I**). En la misma figura, se observa que los valores máximos alcanzados por los diferentes cortes de CTF son menores a los de CVMF. También se detecta un período de mayor recuperación de la biomasa aérea en CVMF que favorece la intercepción de RFA.

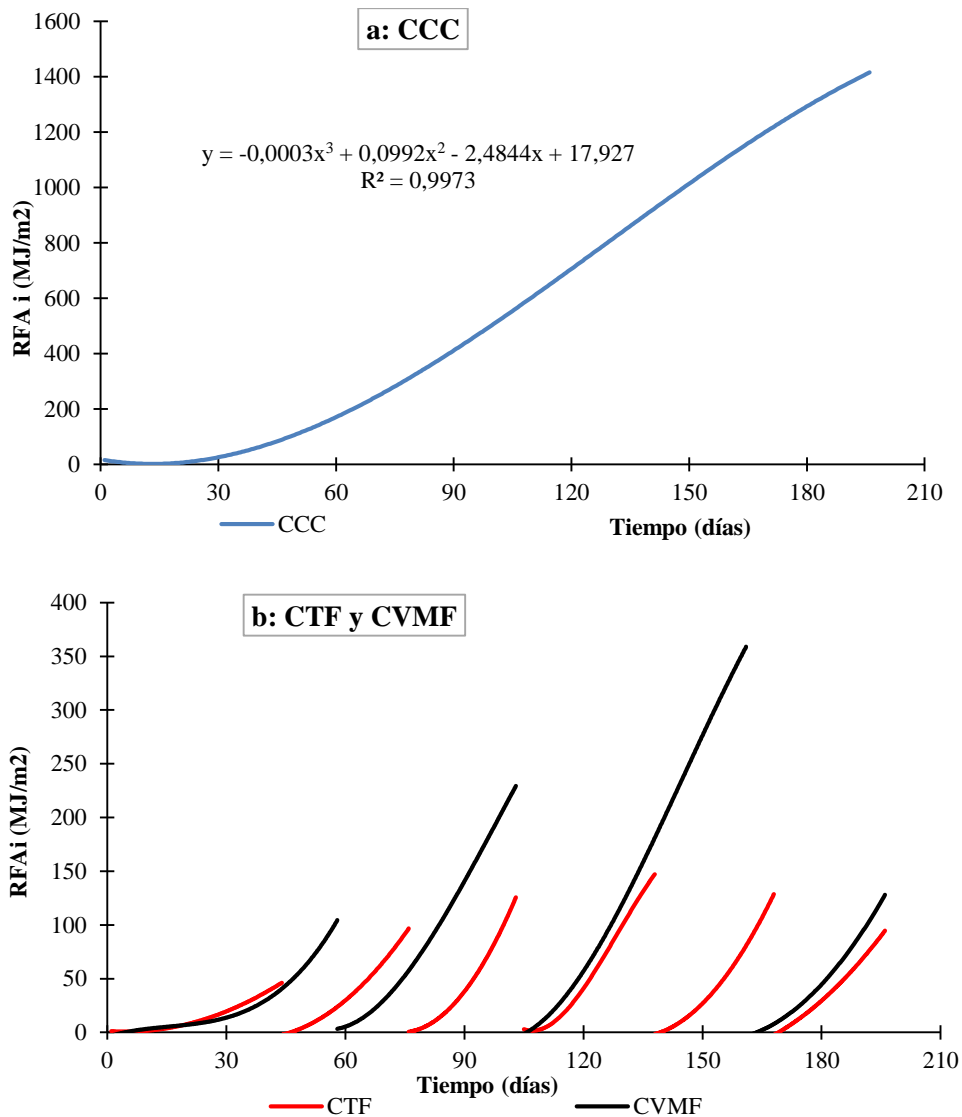


Figura 37. Modelos de regresión para la relación entre la acumulación de RFAi y el tiempo, según frecuencia de corte. CCC (a); CFT y CVMF (b).

4.3.4.3. Tasa de captación de la Radiación fotosintéticamente activa (TRFA)

En la **Figura 38** se presenta la evolución de la captura diaria de RFAi (MJ/m².día) para cada tratamiento, es decir, la tasa con la que la RFAi es capturada por la pastura (los modelos matemáticos y sus coeficientes se encuentran en la **Tabla 16 del anexo I**). CCC exhibe un comportamiento similar al obtenido en el ensayo de macetas. Los valores máximos de TRFAi ocurren durante el verano cuando la RFA incidente fue alta, y cuando la planta presentó una canopia que le permitió capturar gran parte de la luz solar incidente. La TRFAi se mantuvo en valores altos desde los 105 ddr hasta los 165 ddr aproximadamente.

Durante los primeros dos cortes en CVMF y los primeros tres en CTF, la relación entre TRFAi y el tiempo, fue lineal. En los cortes subsiguientes de cada tratamiento, se observa una tendencia curvilínea de TRFAi. En la figura, también se aprecia que los valores de CTF son menores a los de CVMF para los diferentes momentos del ciclo.

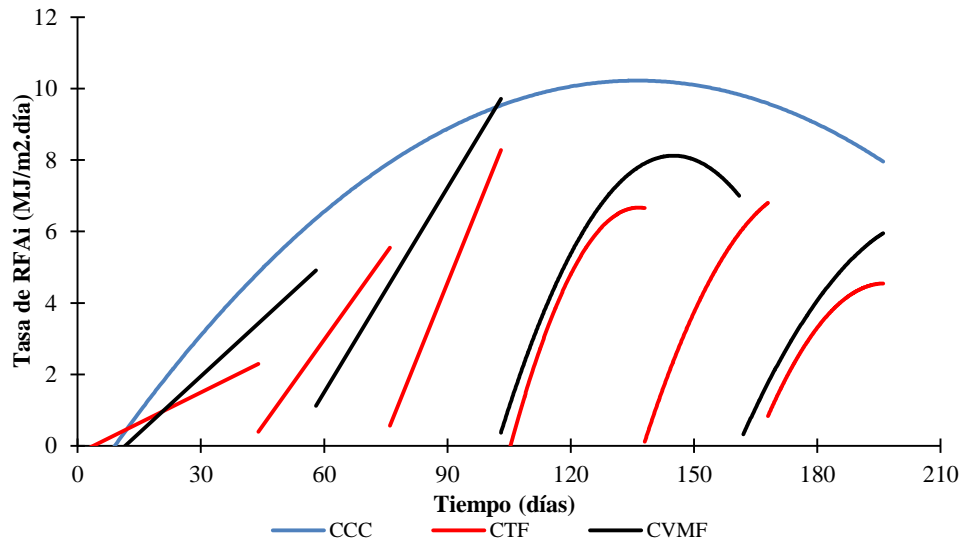


Figura 38. Modelos de regresión para la relación entre la TRFAi ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{día}$) y el tiempo, según frecuencia de corte.

4.3.4.4. Índice de área foliar (IAF)

En la **Figura 39** se observa la evolución del IAF a través del tiempo (los modelos matemáticos y sus coeficientes se encuentran en la **Tabla 17 del anexo I**). Para CCC la relación entre estos dos, es de segundo grado, y muestra el aumento de IAF hasta llegar a sus valores máximos a partir de los 120 ddr durante el verano. Por otro lado, los tratamientos con corte, presentan menores valores de IAF durante todo el ciclo. Igualmente, CVMF alcanza máximos más altos que CTF. Esto implica que el desarrollo de la canopia fue menor para estos dos tratamientos al compararlos con CCC. Durante el verano (120 ddr), CTF y CVMF mostraron los valores más altos de IAF, lo que también explica la mayor captura de RFA durante esa época.

Durante los últimos dos cortes de CTF se observa un menor desarrollo del IAF. Esto implica que la pastura no logra desarrollar una canopia importante en esos momentos. Cuando la planta se corta, el rebrote dependerá del área foliar remanente y de las reservas que puedan tener los macollos en las vainas de las hojas y raíces. Una alta frecuencia de corte dificulta la posibilidad de recuperación y de un rebrote rápido de la planta. Por otro lado, es posible que las reservas para el rebrote primaveral del ciclo siguiente se vean

comprometidos (Zanoniani, 2010). Cuando se compara el desarrollo del IAF del cuarto corte de CVMF y el sexto de CTF, se observa que ocurren en el mismo momento, pero el IAF de CTF es menor al de CVMF en la última medición realizada.

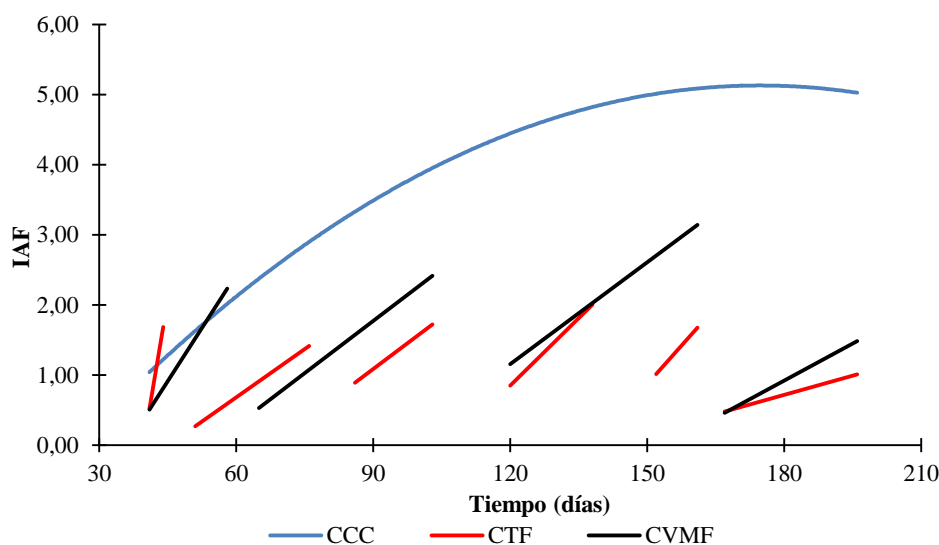


Figura 39. Modelos de regresión para la relación entre IAF y el tiempo, según las distintas frecuencias de corte.

En la en la **Tabla 88** se presentan los valores más altos de IAF alcanzados durante todo el ciclo para los diferentes tratamientos, y los resultados del ANOVA realizado. CCC alcanzó los valores más altos de IAF llegando a máximos de $6,52 \pm 0,69$ y fue estadísticamente superior al resto, mientras que CTF desarrollo un IAF máximo de $1,64 \pm 0,41$ y fue significativamente menor a CVMF y a CCC con ($p < 0,05$). CVMF mostró un comportamiento intermedio consiguiendo un IAF de $2,44 \pm 0,79$ ($p < 0,05$). Estas diferencias en el desarrollo de la canopia de la pastura explican los resultados obtenidos de intercepción, lo que se refleja en la captura de radiación (tasa y acumulación de la RFAi) para las frecuencias de corte planteadas.

Tabla 88. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para IAF máximo (IAF máx) alcanzado durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamiento	n	IAF máx	DE	EE	CV	Dif. de medias
CCC	3	6,52	0,69	0,34	10,52	A
CVMF	12	2,44	0,79	0,17	32,26	B
CTF	18	1,64	0,41	0,14	25,17	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Se estableció la relación entre el IAF y la intercepción de la radiación para los datos obtenidos de los tres tratamientos (**Figura 40**). El modelo de regresión obtenido muestra una curva polinómica de tercer grado con buenos valores de ajuste (**Figura 40** y **Tabla 18** del **anexo I**).

La intercepción aumenta progresivamente a medida que se desarrolla la canopia de la pastura con los consecuentes incrementos de IAF. Se observa que se alcanza el IAF crítico (de 5,84) con la máxima intercepción (95%) y luego se produce una meseta hasta llegar al IAF máximo (de 7). En macetas, los no fertilizados alcanzaron IAF menor (de 4) con la máxima intercepción (85%), mientras que los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada llegaron a interceptar valores entre 90 y 93% con un IAF crítico de 5.

Se calcularon diferentes respuestas de intercepción par distintos valores de IAF con el modelo matemático planteado. Cuando el IAF es de 2,72 digitaria consigue el 0,80 (80% de IR), y al llegar a 4,05 supera el 0,90 (90%). En valores de IAF de 4,97 la intercepción es del 0,93 (93%). Estos resultados son similares a los obtenidos en los modelos de regresión del ensayo realizado en macetas.

Para la misma zona de estudio en otro ciclo de evaluación, Rossi et al. (2015b) encontraron un IAF crítico cercano a 5 con 95% de IR en VMF bajo condiciones hídricas inferiores a la de este ciclo, y probablemente mayores niveles de radiación. Privitello et al. (2009) lograron intercepciones mayores al 95% con valores de IAF entre 5,0 y 6,2 para digitaria fertilizada y regada durante la estación estival para un ciclo de crecimiento.

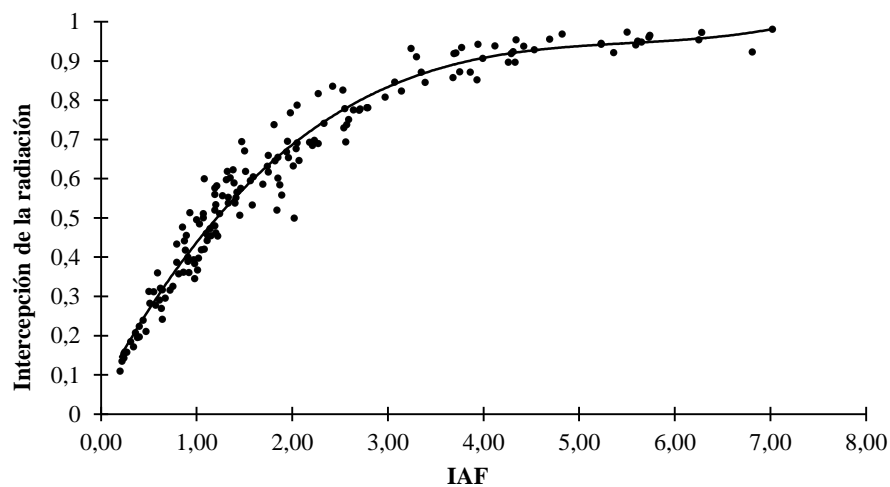


Figura 40. Modelo de regresión para la relación entre intercepción de la radiación e IAF, sin discriminar por tratamiento.

4.3.5. Eficiencia de uso de los recursos lumínicos e hídricos

4.3.5.1. Eficiencia de la utilización de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (EURFAi)

Teniendo en cuenta la producción final de biomasa aérea (sumatoria de cortes en CTF y CVMF), y la acumulación de RFAi al final del ciclo, se calculó la eficiencia de utilización de la RFAi (EURFAi) para los diferentes tratamientos. En la **Tabla 89** se presentan los resultados obtenidos. La frecuencia de defoliación en función de la VMF (CVMF) fue el estadísticamente superior al resto de los tratamientos para la EURFAi ($p < 0,05$). En segundo lugar se encuentra CTF que fue significativamente mayor a CCC ($p < 0,05$). Este último tratamiento manifestó la menor EURFAi ($p < 0,05$). Cuando la frecuencia de corte se ajustó al crecimiento de la pastura se logró la mayor eficiencia de uso de la RFAi. Altas frecuencias de defoliación disminuyeron la EURFAi al compararla con CVMF. Cuando se analiza comparativamente los resultados obtenidos, se observa que CCC alcanzó la mayor absorción de RFA pero no logró la suficiente ABA (CCC: 911,73 g MS/m² y CVMF: 1100,41 g MS/m²) para llegar a altos valores de EURFAi. La renovación de la canopia por efecto de corte permitió una mejor utilización de la radiación capturada.

Tabla 89. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso de la RFA interceptada (EURFAi) alcanzada durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamiento	n	EURFAi (g MS/MJ)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	3	1,30	0,02	0,04	1,39	A
CTF	3	1,08	0,1	0,04	9,22	B
CCC	3	0,64	0,04	0,04	6,77	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

4.3.5.2. Eficiencia de utilización del agua total precipitada (EUA)

Se calculó la eficiencia de utilización del agua precipitada durante todo el ciclo para los diferentes tratamientos (**Tabla 90**). Con cortes en VMF (CVMF) se lograron los mayores valores de EUA y fue estadísticamente superior a CTF y CCC ($p < 0,05$). Cuando se realizaron cortes programados (CTF) la EUA fue inferior al resto de los tratamientos ($p < 0,05$), por lo que a diferencia de lo ocurrido con la radiación, CCC tuvo mayor eficiencia que CTF. Estas diferencias se explican porque la precipitación acumulada fue igual para los

tres tratamientos, mientras que la absorción de la radiación fue mayor para CCC, dado que mantuvo mayores valores de IAF, de TRFAi y de intercepción de la radiación incidente.

Tabla 90. Media, n, desvío estándar, error estándar, coeficiente de variación y diferencia de medias (test LSD) para la eficiencia de uso del agua (EUA) alcanzada durante todo el ciclo según tratamientos.

Tratamiento	n	EUA (g MS/m ² .mm)	DE	EE	CV	Dif. de medias
CVMF	3	1,38	0,09	0,03	6,28	A
CCC	3	1,15	0,05	0,03	4,65	B
CTF	3	0,88	0,00015	0,03	0,02	C

En la columna, medias con distintas letras difieren significativamente ($p < 0,05$).

Durante el ciclo de crecimiento estudiado, una defoliación ajustada a la VMF permitió una mejor utilización del agua precipitada y EURFAi al someter la pastura a períodos de descanso acordes a la morfogénesis.

4.3.6. Síntesis de resultados del segundo ensayo

En el esquema de la **Figura 41** se resumen las relaciones estudiadas y las respuestas obtenidas al considerar 3 frecuencias de defoliación planteadas (CCC, CVMF y CTF) y variables referidas a la estructura horizontal (densidad de macollos) y vertical de la pastura (indicador de calidad), producción de biomasa aérea y crecimiento de la canopia-captura de la radiación (IAF).

Al comparar situaciones contrastantes (CCC y CTF), el aumento de la frecuencia de defoliación trae aparejado un mayor número de cortes durante el ciclo de crecimiento, y esto último tiene una relación inversa con la acumulación de biomasa total, por lo que ABA resultó menor para CTF. Por otro lado, existe una relación directa entre ABA y el área foliar (IAF), en consecuencia, mayores crecimientos de la canopia (CCC vs CTF) permitieron interceptar y acumular más radiación incidente (IR y RFAi ac) y aumentar la TRFAi.

La ABH y ABt tuvieron una relación directa con la ABA, y además, definieron la estructura vertical de la planta, donde ABH presentó una relación inversa con T/H, mientras que al aumentar la acumulación de tallos (ABt), los valores de T/H fueron mayores (relación directa). Mayores frecuencias de defoliación interrumpieron el desarrollo de la planta y esto trajo aparejado una menor acumulación de tallos (material fibroso), y por lo tanto, CTF presentó la menor relación T/H. Esto último, favoreció la calidad forrajera al aumentar la

proporción de material verde en cada corte. Al considerar CCC, el crecimiento libre sin cortes durante todo el ciclo, permitió mayor ABt, y por lo tanto, menor calidad forrajera.

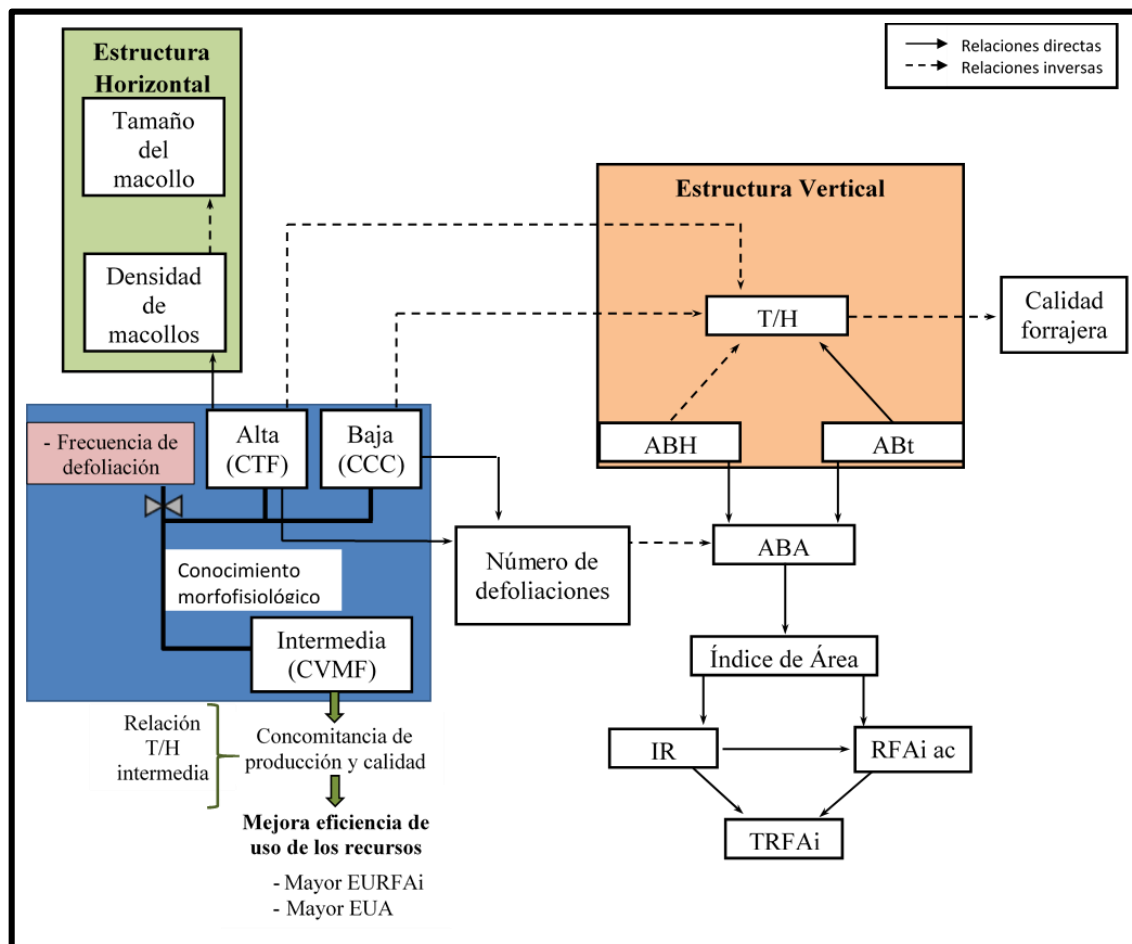


Figura 41. Esquema de relaciones e interacciones entre variables medidas y la frecuencia de defoliación.

Una alta frecuencia de defoliación (CTF) provocó aumentos en la densidad de macollos (relación directa) pero redujo el porte de las plantas, lo que modificó la estructura horizontal.

El conocimiento morfofisiológico de la especie, permitió sincronizar la frecuencia de corte con el crecimiento de la pastura, lo que generó mayor ABA. Además, esto permitió una concomitancia entre la producción de biomasa y la calidad de forraje (relación T/H intermedia). Las defoliaciones realizadas considerando la VMF repercutieron en menores valores de IR, RFAi acumulada y TRFAi al compararlo con una situación testigo (CCC), pero la renovación del follaje en sincronía con la velocidad de crecimiento, tuvo como consecuencia una mejor utilización de la radiación y del agua (EUA y EURFAi).

Altas frecuencias de defoliación (CTF) mantuvieron una relación inversa con la relación T/H, lo que implica una modificación favorable de la estructura vertical con mayor proporción de hojas y baja acumulación de tallos, en comparación con manejos que contemplen la VMF y peor aún, con situaciones sin defoliación (CCC). Al mismo tiempo, CTF provocó un aumento de densidad en los macollos (estructura horizontal) a los que se les observó un menor porte, marcando una diferencia con situaciones contrastantes (CCC) e intermedias (CVMF) de frecuencia de corte. El mayor número de cortes realizados durante el ciclo (6) para CTF, en conjunto con los cambios provocados en la estructura horizontal, condujeron a una menor ABA acumulada lo que repercutió en menor crecimiento de la canopia (IAF) y por lo tanto en un menor aprovechamiento de la radiación incidente (IR, RFAi y TRFAi), que finalmente implicó menores eficiencias de utilización de los recursos (EUA y EURFAi).

Cuando la frecuencia de defoliación se ajustó al crecimiento morfofisiológico de la especie, se logró menor cantidad de cortes (4) durante el ciclo. Esto permitió mayor ABA, logrando concomitancia sincronismo con la calidad de forraje (intermedia relación T/H) sin modificar la estructura horizontal respecto a la situación testigo (CCC). Dicha ABA permitió lograr un crecimiento de la canopia (IAF) que trajo como consecuencia un mayor aprovechamiento de la radiación (IR, RFAi y TRFAi) y repercutió directamente en la eficiencia de utilización de los recursos (EUA y EURFAi) que para CTF.

4.4. Integración de resultados

Mayor disponibilidad de recursos (nitrógeno y agua) aumentó el desarrollo de la canopia (TEF, TAH, Fc, IAH, tamaño del macollo, IAF) permitiendo alcanzar anticipadamente elevados %IR, mejorar la eficiencia de utilización de los recursos y lograr mayor producción de biomasa.

Para los dos ensayos (macetas y parcelas) se lograron obtener modelos de regresión que muestran las variaciones en la captura de la radiación y la evolución de la canopia (IAF). En ambos casos, cuando se alcanzó un IAF de 3 la especie capturó el 80 % de la radiación incidente, y posteriormente, los incrementos de IAF ocurrieron más lentamente (a tasa decreciente) con menores aumentos en el %IR.

Elevadas frecuencias de defoliación modificaron la estructura vertical de la pastura ofreciendo menor proporción de tallo, pero también afectando la estructura horizontal (densidad de macollos). Además, no permitieron desarrollar la canopia (bajos IAF) y por lo

tanto no se alcanzaron elevados niveles de intercepción, lo que redujo la biomasa producida y la eficiencia de uso de los recursos.

Al considerar la VMF para la defoliación se logró aumentar la producción de forraje y se incrementó la eficiencia de uso de los recursos, como producto de un mayor desarrollo de la canopia con moderados niveles de captura de la radiación (IR, RFAi y TRFAi).

Aunque IR y RFAi resultaron menores al realizar defoliaciones según VMF durante el ciclo, comparados con CCC, los cortes permitieron renovar la canopia y mejorar el uso de la radiación capturada y del agua, obteniendo mayor producción final y con mejores índices de calidad.

La frecuencia de defoliación es una herramienta de manejo que permite modificar la calidad del forraje a cosechar u optimizar la producción de biomasa en un rango variable y relativo al desarrollo foliar de la pastura. Cuando la frecuencia resulta demasiado alta se perjudica la productividad de la pastura al no compensarse la estructura de la planta en ambos sentidos (vertical y horizontal), o sea, longitud foliar limitada (menor a las otras defoliaciones) por una alta densidad de macollos, tornando la pastura más cespitosa. En cambio, frecuencias que consideren el ritmo de crecimiento de la especie (VMF) resultan en mayor productividad forrajera sin provocar cambios en la estructura horizontal de la pastura.

Diversas pautas y líneas de manejo de especies forrajeras han sido propuestas por diferentes investigadores al analizar la respuesta de las variables morfogénicas, estructurales y productivas de las pasturas frente a distintos escenarios ambientales y de manejo (Agnusdei y Colabelli, 2007; Da Silva et al., 2012; Edvan et al., 2011; Martins et al., 2005; Paciullo et al., 2003; Pedroso et al., 2009; Pena et al., 2009; Ramírez Reynoso et al., 2010; Rodrigues et al., 2014; Silveira et al., 2010; Sousa et al., 2010). Para digitaria en San Luis, Veneciano et al. (2006) trabajaron con frecuencias de defoliación entre 28 y 42 días durante tres ciclos, y establecieron que los resultados más apropiados teniendo en cuenta la acumulación de biomasa total y de hojas, resultaron en frecuencias de defoliación entre 35 y 45 días.

Los resultados provenientes de la evaluación de variables morfogénicas, estructurales e indicadores de calidad (IC, ISN) obtenidos en éste y en otros trabajos (Borcosqui et al., 2012; Privitello et al., 2012; Rossi et al., 2015a; Rossi et al., 2015b), integrados a resultados productivos y de calidad (T/H) por efecto de la frecuencia de defoliación, indican que en digitaria debería aplicarse una frecuencia entre 40 a 60 días (350

a 600 °C día) según las condiciones ambientales (nitrógeno, agua y temperatura). Dicho rango de frecuencia basado en la respuesta de las características morfogénicas y estructurales a los factores ambientales, permite cierta dinámica en el manejo de la pastura que podrá modificarse según los diferentes escenarios que puedan presentarse, tanto desde el punto de vista ambiental (nitrógeno, agua y temperatura) como desde una perspectiva del sistema de producción y sus objetivos (calidad y/o producción).

5. CONCLUSIONES

La temperatura base de crecimiento estimada para el año de estudio fue de 7 °C. Igualmente, es necesario seguir estudiando el comportamiento de la especie para ajustar este resultado al de otros ciclos y bajo condiciones controladas.

El comportamiento morfogénico, estructural, productivo, fenológico y la calidad forrajera (IC) de la especie se modifica por efecto de condiciones diferenciales de humedad y de nitrógeno edáfico. De manera general, el nitrógeno aumenta el tamaño foliar y del macollo, acelera la morfogénesis y el proceso de diferenciación de los macollos; mientras que el agua favorece el mantenimiento del tejido verde (mayor VMF), retrasa la senescencia, y favorece el efecto del nitrógeno en el crecimiento foliar. La interacción entre los factores genera un efecto sobre la cantidad de hojas verdes o vivas que puede mantener el macollo, lo que implica que para un determinado nivel de nitrógeno aplicado, es necesario garantizar el agua suficiente para que exista un efecto sobre la variable mencionada.

La aceleración del crecimiento y desarrollo foliar repercute en la ocurrencia de las fases fenológicas, resultando el nitrógeno edáfico promotor del inicio anticipado de las etapas reproductivas en detrimento de la acumulación foliar. A su vez, el agregado de nitrógeno por fertilización permite un incremento del crecimiento de la canopia que se refleja en el IAF, la tasa de captura de la radiación, la acumulación de radiación y la biomasa aérea generada.

La fertilización nitrogenada incrementa el contenido clorofílico de las hojas que resulta notable en los primeros 100 ddr, lo cual permite inferir cambios favorables en el contenido de nitrógeno foliar. Con el avance de los estados fenológicos y el envejecimiento de las hojas, el índice de clorofila disminuye aunque existe cierta memoria del efecto del nitrógeno aplicado sobre la actividad cloroflica en las hojas más viejas.

El incremento en el nivel de un recurso limitante como el nitrógeno permite una mayor eficiencia de utilización de recursos como agua y radiación, cuando estos no resultan limitantes.

La acumulación térmica incide directamente sobre parámetros que definen el crecimiento como los morfogénicos, estructurales, el área foliar, tenor clorofílico de las hojas, y a su vez en el desarrollo de la planta (cambios fenológicos).

Por las relaciones expuestas entre el ambiente y el crecimiento-desarrollo de la planta, cobra importancia adecuar el manejo de las pasturas a condiciones variables de agua y temperatura, como así también restrictivas en fertilidad edáfica, propias del semiárido; y a parámetros regidos por la genética y morfofisiología de la especie.

La frecuencia de defoliación ajustada a la VMF mejora la intercepción, aumenta la captura de radiación, incrementa la eficiencia de uso de los recursos ambientales y permite un mayor desarrollo de la canopia (IAF) que repercuten en una mayor producción de biomasa aérea.

Altas frecuencias de defoliación disminuye la capacidad del follaje para interceptar la radiación, producir alta biomasa forrajera anual y utilizar los recursos ambientales de manera eficiente. Al mismo tiempo, mejora la estructura vertical de las plantas (baja T/H) aumentando la fracción más rica en proteína y preferida por el ganado. Los mecanismos de plasticidad fenotípica modifican la estructura de la pastura al aumentar la densidad de macollos pero no logran compensar la acumulación de biomasa, por lo que hay pérdida de productividad y se genera un efecto indeseado sobre la estructura horizontal de la pastura (aumento de la densidad de macollos de menor porte).

Digitaria alcanza la máxima intercepción de la radiación (90 a 95%) con alto índice de área foliar (5-6), lo cual pone de manifiesto su potencial forrajero en cuanto a su relación con una buena arquitectura de planta para la captura de luz y crecimiento foliar elevado. Con IAF menores (3) aún intercepta altos valores de radiación (80%).

Para las condiciones ambientales de este estudio, los resultados indican que frecuencias de defoliación de *digitaria* al alcanzar la VMF, entre 40 y 60 días (350 a 600 °C día) según la disponibilidad de recursos ambientales (agua, temperatura y nitrógeno) e índices de área foliar próximos a 3 (80 % de intercepción), pueden resultar apropiadas para lograr una concomitancia entre la producción y la calidad, a la vez que se favorece la eficiencia de utilización de los recursos.

Implicancias prácticas:

Cuando la disponibilidad de agua es limitante (períodos de sequía), es importante saber que la respuesta productiva a la fertilización puede verse comprometida. En los climas semiáridos es habitual que ocurran períodos de sequía seguidos por períodos con abundantes precipitaciones, dentro de un mismo ciclo productivo. Esto se relaciona con la alta variabilidad climática intra e interanual que presentan. Una posibilidad es esperar el período

de lluvia y una cierta acumulación de área foliar para la aplicación del fertilizante nitrogenado, con la idea de acelerar el crecimiento y desarrollo de la pastura; a la vez de promover la producción de biomasa aérea y el contenido de nitrógeno en la planta. Esta situación de mayor oferta de producción y calidad forrajera puede beneficiar la respuesta animal.

Todos los cambios estructurales, morfogénicos, fenológicos y productivos estudiados en esta tesis, llevan a pensar que el manejo de la defoliación de la pastura no puede ser planteado de manera fija o igual para todas las situaciones, y que es necesario plantear un *manejo dinámico de la defoliación* que prevea la respuesta de la pastura a diferentes escenarios. Así, la fertilización representa una herramienta para el aumento de la producción y de la calidad de la pastura, pero debe programarse adecuadamente. Por un lado, debe preverse situaciones variables de disponibilidad de agua para altos niveles de fertilización y producción. Por otro, hay que tener en cuenta que la aplicación de nitrógeno acelera los procesos morfogénicos y la ocurrencia de las distintas fenofases, por lo tanto, en situaciones con mayor disponibilidad de nutrientes y agua, pueden plantearse frecuencias de defoliación más altas. En cambio, aumentos de regímenes de humedad sin modificación en la disponibilidad de nitrógeno edáfico, pueden significar un retraso en el inicio de la senescencia que podrían permitir frecuencias de pastoreos menores con mayor acumulación de biomasa.

Además, las frecuencias de defoliación estudiadas pueden ser aplicadas según los objetivos productivos de sistema, pudiéndose priorizar la acumulación de materia seca o compensar menores producciones con mejor calidad de la planta respetando las características morfofisiológicas de la especie.

Igualmente, es necesario seguir investigando la respuesta de la pastura a diferentes condiciones ambientales para proponer herramientas tecnológicas que permitan generar un *manejo dinámico* de la pastura que se ajuste a las necesidades del rodeo, pero que también permita una mejor utilización de los recursos disponibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei M. (1994). Efecto de algunos factores ambientales sobre los procesos morfogénicos. Curso de posgrado de actualización sobre ecofisiología de cultivos y pasturas. Octubre de 1994. En la EEA – Facultad de Ciencias Agrarias unidad integrada Balcarce.
- Agnusdei M., Colabelli M. (2007). Morfogénesis foliar aplicada al manejo de la defoliación en pastizales de la Pampa Deprimida. *30° Congreso de Producción Animal*: 27 (1): 136-137.
- Anslow R. (1966). The rate of appearance of leaves on tillers of the gramineae. *Herbage abstracts*: 36 (3): 149-155.
- Avila R., Barbera P., Blanco L., Burghi V., De Battista J., Frasinelli C., Frigerio K., Gandara L., Goldfarb M., Griffa S., Grunberg K., Leal K., Kunst C., Lacorte S., Marinez Calsina L., Mc Lean G., Nanning F., Otodondo J., Petruzzi H., Pizzio R., Pueyo J., Re A., Ribotta A., Romero L., Stritzler N.P., Torres Carbonell C., Ugarte C., Veneciano H., Tomas M. (2014). *Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA.
- Ayala Torales A., Acosta G., Deregibus V., Moauro P. (2000). Effects of grazing frequency on the production, nutritive value, herbage utilisation, and structure of a *Paspalum dilatatum* sward. *New Zealand Journal of Agricultural Research*: 43(4):467-472.
- Bacha E., García V., Privitello M., Borcosqui A.A. (2011). Características morfogénicas de *Panicum coloratum* en primavera. *34° Congreso de Producción Animal*: 31(1): 576.
- Bandera R., Bertram N., Bolleta A., Chiacchiera S., Ferri J., Galíndez G., Lauric A., Malagrina G., Otondo J., Petruzzi H. (2013). *Las gramíneas forrajeras megatérmicas en la región templada de Argentina*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA ed.
- Barbosa O. (2008). Descripción del ecosistema: EL CALDENAL. En: Gabutti E., Privitello, M. J. L., Barbosa, O. A. (Eds.), *El caldenal puntano*. (pp. 15-24). Villa Mercedes, San Luis, Argentina: El Tabaquillo editorial.
- Berone G., Dreher N. (2007). Elongación y vida media foliar de gramíneas templadas perennes a inicios de primavera en el centro-oeste santafecino. *30° Congreso de Producción Animal* 27 (1): 201-202.
- Bertón J., Echeverría J. (1999). Cambio climático global en San Luis: Régimen pluviométrico. *Cambio climático global en San Luis: Régimen pluviométrico VII Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo*: Universidad Nacional de San Luis. pp. 48-50.
- Bertram N., Fiori F., Angeletti F., Chiacchiera S., Elorriaga S., Sampaoli F., Conde M. (2012). Fertilización nitrogenada en "grama rhodes" (*Chloris gayana*): Análisis radiativo. *35° Congreso de Producción Animal*: 32 (1): 343.
- Bonhomme R. (2000). Bases and limits to using 'degree. day' units. *European Journal of Agronomy*: 13 (1): 1-10.

- Borcosqui A.A., Privitello M., Bacha E.F., García V. (2012). Morphogenesis at tiller level in *Digitaria eriantha*. *BIOCELL*: 36 (3): 126.
- Buxton D.R. (1996). Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology*: 59 (1-3): 37-49.
- Carvalho Santos L., Bonomo P., Bulhões Silva V., da Silva Patês N., Cavalcante Félix da Silva C., Vieira Pires A. (2009). Características morfogênicas de braquiárias em resposta a diferentes adubações. *Acta Scientiarum, Agronomy*: 31 (2): 221-226.
- Castillo A., Ligarreto G. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*: 11 (2): 122-128.
- Castro Salas J., Ramírez Reynoso O., García Martínez A., Avilés Nova F. (2013). Análisis de crecimiento de brachiaria híbrido cv. mulato II en la época de lluvias y secas en el altiplano central de México. En: Chay Canul, A. y Casanova Lugo, F (Eds.), *La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México* (pp. 503-506). XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria. Villahermosa, Mexico. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección Eduardo Caballero y Caballero.
- Colabelli M., Agnusdei M., Durand J. (2011). Grupos funcionales de plantas, producción de forraje y eficiencia de uso de radiación de pastizales naturales en condiciones potenciales y limitadas de agua y nitrógeno. *RIA: Revista de Investigaciones Agropecuarias*: 37 (1): 62-74.
- Colabelli M., Agnusdei M., Mazzanti A., Labreuveux M. (1998). El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. *Boletín técnico*: 148: 1-17.
- Collino D., Dardanelli J., De Luca M. (2007). Uso del agua y la radiación para producción de forraje. En: Basigalup, D. (Eds.), *El cultivo de alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA.
- Costa N.L., Moraes A., Gomes Monteiro A.L., Vargas Motta A.C., Oliveira R.A., Rodrigues A.N. (2013). Forage productivity and morphogenesis of *Axonopus aureus* under different nitrogen fertilization rates. *Revista Brasileira de Zootecnia*: 42 (8):541-548.
- Costa J. P. R., Caputti G. D. P., Galzerano L., Silva W. L. D., Ruggieri A. C., Malheiros, E. B. (2015). Relative chlorophyll contents in the evaluation of the nutritional status of nitrogen from xaraes palisade grass and determination of critical nitrogen sufficiency index. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*: 37(2): 109-114.
- Chacón-Hernández P.A., Vargas-Rodríguez C.F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía mesoamericana*: 20 (2): 399-408.
- Chapman D., Lemaire G. (1993). Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *International Grassland Congress*: 17: 95-104.

- Da Silva T., Perazzo A., Macedo C., Batista E., Pinho R., Bezerra H., Santos E. (2012) Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação nitrogenada. *Archivos de zootecnia*: 61 (233):91-102.
- Davies A. (1988). The regrowth of grass swards. En: Jones M.B., Lazenby A. (Eds.), *The grass crop*. (pp. 85-127). Springer.
- Demaría M.R., Aguado Suárez I., Steinaker D.F. (2008). Reemplazo y fragmentación de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis, Argentina. *Ecología austral*: 18 (1): 55-70.
- Dobermann A. (2007). Nutrient use efficiency—measurement and management. En: A. Krauss, K.; Isherwood y Heff P. (Eds.), *Fertilizer best management practices*. (pp. 1-28). Paris, France. International Fertilizer Industry Association.
- Echeverría J., Giuliatti J. (2006). II. Cartografía de variables ambientales. En: Echeverría J., Jobbagy E, y Collado A. (Eds.), *Aptitud Forestal de la Provincia de San Luis* (11-35). San Luis, Argentina. Ediciones INTA.
- Edvan R., Santos E., Da Silva D., De Andrade A., Costa R., Vasconcelos W. (2011). Características de produção do capim-buffel submetido a intensidades e frequências de corte. *Archivos de zootecnia*: 60 (232):1281-1289.
- Falco, P.C. (2017). *Parámetros morfogénicos y estructurales de Eragrostis curvula y Chloris gayana a nivel de macollo*. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Luis.
- Fernández O.A., Brevedan R.E., Gargano A.O. (1991). *El pasto llorón: su biología y manejo*. Bahía Blanca, Argentina. CERZOS y Universidad Nacional del Sur.
- Ferraro D., Oesterheld M. (2002). Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. *OIKOS*: 98 (1):125-133.
- Ferri C.M. (2010). Efecto del intervalo de corte y fertilización nitrogenada sobre la concentración proteica en mijo perenne. *33° Congreso de Producción Animal*: 30 (1): 341.
- Ferri C., Brizuela M., Cid M., Stritzler N. (2006). Dinámica de Acumulación de Láminas Foliares y Estructura del Forraje Diferido de *Panicum coloratum* L. *Agricultura Técnica*: 66 (4): 376-384.
- Ferri C., Stritzler N., Pagella H. (2008). Tasa de aparición de hojas durante tres temporadas de crecimiento en *Panicum coloratum* L. cv Verde. *Revista argentina de producción animal*: 28 (3):193-200.
- Frasinelli C., Avila J.D., Belgrano Rawson A. (1998). *El pasto llorón y los sistemas de producción en San Luis*. San Luis, Argentina. Ediciones INTA.
- Frasinelli C., Veneciano H. (2014). *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. San Luis, Argentina. Ediciones INTA.

- Frasinelli C., Veneciano H., Belgrano Rawson A., Frigerio K., Aguilera M., Panigatti J. (2003). Sistemas extensivos de producción bovina: productividad y rentabilidad. En: Aguilera, M.; Panigatti, J. (Eds.), *Con las metas claras*. La Estación Agropecuaria San Luis.
- Frasinelli C., Veneciano H., Díaz J. (2004). Sistemas de cría bovina en San Luis. Estructura, manejo e indicadores económicos. INTA EEA San Luí. Información Técnica: 166: 88.
- Frigerio K., Panza A., Frasinelli C., Privitello M. (2009). Efecto de RFA interceptada acumulada sobre el crecimiento estival de *Digitaria eriantha* cv Irene. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*: 42 (2):175 – 185
- Frigerio K., Blanco E.M., Privitello J.M.L., Panza A., Frasinelli C., (2016). Curva de dilución e índice de nutrición nitrogenada para *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes regímenes de agua y nitrógeno. *32° Congreso de Producción Animal*: 29 (1): 588-589.
- Gáborčík, N. (2003). Relationship between contents of chlorophyll (a+ b)(SPAD values) and nitrogen of some temperate grasses. *Photosynthetica*: 41 (2): 285-287.
- Gandrup M.E., García F., Fabrizzi K., Echeverría H. (2004). Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*: 33 (3):105 - 121.
- Garbulsky M., Deregibus A. (2004). *Perfiles por país del recurso pastura/forraje*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)/Grassland and Pasture Crops Group. Recuperado el 27 de octubre de 2017 en: www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/spanishtrad/argentina_sp/argentina_sp.htm.
- Garcez Neto A., do Nascimento Junior D., Regazzi A., da Fonseca D., Mosquim P., Gobbi K. (2002). Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*: 31 (5):1890-1900.
- Gardner F., Brent Pearce R., Mitchel R. (1985). Fijación De Carbono Por Los Cultivos. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press.:31-57.
- Gargano A., Adúriz M. (2005). Efectos de la frecuencia de corte, distancia de siembra y fertilización nitrogenada en *Digitaria eriantha* cv. Irene. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*: 13 (1): 1-12.
- Gargano A., Adúriz M., Arelovich H., Amela M. (2001). Forage yield and nutritive value of *Eragrostis curvula* and *Digitaria eriantha* in central-south semi-arid Argentina. *Tropical Grasslands*: 35 (3):161-167.
- Gargano A., Adúriz M., Busso C.A. (2004). Nitrogen fertilization and row spacing effects on *Digitaria eriantha*. *Rangeland Ecology & Management*: 57 (5):482-489.

- Gargano A., Adúriz M., Saldungaray M.C. (2006). Evaluación de gramíneas estivales perennes fertilizadas con nitrógeno. *Revista argentina de producción animal*: 26 (2):89-99.
- Gastal F., Lemaire G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*: 53 (370): 789-799.
- Gomes M., Banys V., Santos J., De Castro A., Collao Saenz E., Fialho C. (2012). Morfogênese na germinação e na fase de estabelecimento da *Brachiaria ruziziensis* submetida à adubação nitrogenada e potássica. *Ciência Rural*: 42 (12):2235-2241.
- González-Torres, A.; Figueroa-Viramontes, U.; Delgado, J.A.; Núñez-Hernández, G.; Cueto-Wong, J.A.; Preciado-Rangel, P.; Palomo-Gil, A. 2009. Calibración del Spad-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 27, Núm. 4, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 303-309.
- Guerra C., Falco P.C., Lucero E., Baigorria E., Privitello M.J.L. (2017). Morfogénesis a nivel de macollo de *Chloris gayana* k. (grama rhodes) en un área deprimida de Villa Mercedes, San Luis. En Barbosa O., Colazo J.C. (compiladores) *V Reunión de la Red Argentina de Salinidad: salinidad un desafío para el Semiárido*.(pp. 173). Villa Mercedes, Argentina: AACCS.
- Hernández Garay A., Hodgson J., Matthew C. (1997). Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures 1. Tissue turnover and herbage accumulation. *New Zealand Journal of Agricultural Research*: 40 (1): 25-36.
- Hodgson J., Bircham J., Grant S.A., King J. (1981). The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. En: Wright, C (Ed.), *Plant physiology and herbage production*. British Grassland Society.
- Kantety R. V., Van Santen E., Woods F. M., Wood C. W. (1996). Chlorophyll meter predicts nitrogen status of tall fescue. *Journal of Plant Nutrition*: 19 (6): 881-889.
- Lavres Jr. J., Ferragine M.D.C., Gerdes L., Raposo R., Costa M.d., Monteiro F. (2004). Yield components and morphogenesis of Aruana grass in response to nitrogen supply. *Scientia Agricola*: 61 (6): 632-639.
- Lavres Jr., Santos Junior, J.D.G., Monteiro F.A. (2010). Nitrate reductase activity and spad readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*: 34 (3): 801-809.
- Lemaire G., Agnusdei M. (2000). Leaf Tissue Turnover and Efficiency of Herbage Utilization. En: G. Lemaire, Hodgson, J., Moraes, A. de, Nabinger, C., Carvalho, P. C. de F (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. (pp. 265-288). CABI publishing.
- Lemaire G., Chapman D. (1996). Tissue flows in grazed plant communities. En: Hodgson J. y Illius AW (Eds.), *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International.

- Lemaire G., Da Silva S., Agnusdei M., Wade M., Hodgson J. (2009). Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science*: 64 (4): 341-353.
- Lemaire G., Hodgson J., Moraes A.d., Carvalho P.d.F., Nabinger C. (2000). *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI publishing.
- Loewy T., Ron M.d.l.M. (2008). Índice de verdor en trigo según nutrición nitroazufrada, Fertilización nitro-azufrada. Adaptado de: expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa (La Pampa) Argentina. Recuperado el 27 de octubre de 2017 en: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-3__nutricion_nitroazufrada_en_trigo.pdf
- Lucero E. (2015). *Parámetros morfogénicos y estructurales de Panicum coloratum y Tetrachne dregei a nivel de macollo*. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Luis.
- Lucero E. (2016). *Evaluación de variables morfogénicas en especies megatérmicas del semiárido*. Informe de beca: Proyecto CIAC-940139; INTA – AUDEAS – CONADEV. Universidad Nacional de San Luis.
- Lucero E., Privitello M., Bacha E.F., Rossi R., Bornand C. (2015). Aparición, expansión y muerte de hojas en macollos de *Panicum coloratum* y *Tetrachne dregei*. *38° Congreso de Producción Animal*: 35 (1): 233.
- Madakadze I. C., Stewart K. A., Madakadze R. M., Peterson P. R., Coulman B. E., Smith D. L. (1999). Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of switchgrass. *Journal of plant nutrition*: 22 (6): 1001-1010.
- Marino M., Agnusdei M., Bosch J., Machuca M. (2008). Acumulación otoño-invernal de forraje de agropiro según el momento de aplicación de nitrógeno. *31° Congreso de Producción Animal*: 28 (1): 387-388.
- Martins C., de Quadros F., Bandinelli D., Simões L., Kloss M., da Rocha M. (2005). Variáveis morfogênicas de milheto (*Pennisetum americanum*) mantido em duas alturas de pastejo. *Ciência Rural*: 35 (1):174-180.
- Matthew C., Assuero S., Black C., Sackville Hamilton N. (2000). Tiller dynamics of grazed swards. En: G. Lemaire, Hodgson, J., Moraes, A. de, Nabinger, C., Carvalho, P. C. de F (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. (pp. 127-150). CABI publishing.
- Matthew C., Hernandez-Garay A., Hodgson J. (1996). Making sense of the link between tiller density and pasture production. *Proceedings of the conference-new zealand grassland association*: 57: 83-87.
- Mendoza M.d.l.N.R., González G.A., Santelises A.A., Barra J.D.E., Rincón J.A.S. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*: 16 (2): 135-141.
- Nabinger C., de Faccio Carvalho P. (2009). Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para su sustentabilidad. *Agrociencia*: 13 (3):18-27.

- Novoa S.A. R., Villagrán A. N. (2002). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica: 62* (1):166-171.
- Oliveira A., Pires A., Matos Neto U.d., Carvalho G.d., Veloso C., Silva F.d. (2007). Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia: 36* (4):1006-1013.
- Paciullo D.S.C., Deresz F., Aroeira L.J.M., Morenz M.J.F., Verneque R.d.S. (2003). Morfogênese e acúmulo de biomassa foliar em pastagem de capim-elefante avaliada em diferentes épocas do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira: 38* (7):881-887.
- Palazzesi B. (2010). Dinámica de aparición de hojas en *Sphaeralcea bonarensis* como método para el cálculo de su temperatura base. Artícuo técnico. Recuperado el 27 de octubre de 2017 en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/herbicidas-y-malezas-t28614.htm>
- Panigatti J., Cruzate G., Echeverría J., Collado A. (2008). Suelos y Ambientes de San Luis. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: "Semiárido: un Desafío para la Ciencia del Suelo", Potrero de los Funes, San Luis. Recuperado el 27 de octubre de 2017 en: http://www.geointa.inta.gob.ar/wp-content/uploads/downloads/Laminas_de_Suelos/San-Luis_3.jpg
- Panigatti J.L. (2010). *Argentina, 200 años, 200 suelos*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA.
- Parsons A.J., Johnson I., Harvey A. (1988). Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science: 43* (1):49-59.
- Pedroso C., Monks P., Ferreira O., Lima L., Tavares O. (2009). Características morfogênicas de milheto sob lotação rotacionada com diferentes períodos de descanso. *Revista Brasileira de Zootecnia: 38* (12): 2311-2319.
- Pena K.d.S., Nascimento Júnior D.d., Silva S.C.d., Euclides V.P.B.E.G.d.C., Zanine A.d.M. (2009). Características morfogênicas, estruturais e acúmulo de forragem do capim-tanzânia submetido a duas alturas e três intervalos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia: 38* (11): 2127-2136.
- Peña Zubiarte C., Anderson D., Demmi M., Saenz J., D'hiriart A. (1998). Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Luis (Argentina). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, San Luis (Argentina). Gobierno de la Provincia de San Luis. San Luis (Argentina).
- Peña Zubiarte, C. A., d'Hiriart, A., Aguirre, E. R., Demmi, M. A., Elizondo, J. D., Garcia, S. M., Pascuarelli, A. P. (2000). Carta de suelos de la República Argentina. Hoja Villa Mercedes. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luis.
- Peralta N., Abbate P., Marino M. (2011). Radiación interceptada y consumo de agua de un trigo doble propósito en Balcarce. *34º Congreso de Producción Animal: 31* (1): 470.

- Pereira V., Fonseca D., Martuscello J., Gomes dos Santos Braz T., Santos M., Cecon P. (2011). Características morfogênicas e estruturais de capim-mombaça em três densidades de cultivo adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*: 40 (12): 2681-2689.
- Peterson T., Blackmer T., Francis D., Schepers J. (1993). *G93-1171 Using a Chlorophyll Meter to Improve N Management*. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. Recuperado el 27 de octubre de 2017 en: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2349&context=extensionhist>
- Petruzzi H., Stritzler N., Adema E., Ferri C., Pagella J. (2003). Mijo perenne-*Panicum coloratum*. EEA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas. Publicación técnica: 633.171. Ediciones INTA.
- Privitello M. J. L. (2004a). *Dinámica de la degradabilidad ruminal (in-sacco) de Panicum coloratum cv. Klein verde fertilizado*. Tesis de doctorado en Ganadería Ecológica. Universidad de Córdoba, España.
- Privitello M. J. L. (2004b). Evaluación comparativa de la calidad forrajera en especies subtropicales y nativas en la provincia de San Luis (Argentina). *Pastos y Forrajes*: 27 (2):165-176.
- Privitello M. J. L., Gabutti E.G. (2004). Evaluación de la producción acumulada y de rebrotes de *Digitaria eriantha* Steud subsp. *eriantha* cv. Irene. En: Privitello M. J. L., Gabutti E. G. (Eds.), *Producción y Calidad nutricional de forrajeras cultivadas y nativas del semiárido sanluiseño*: 97-105.
- Privitello M. J. L., García V., Bacha E., Borcosqui A.A. (2012). Morfogénesis a nivel de macollo en rebrotes de gramíneas megatérmicas. *35° Congreso de Prducción Animal*: 32 (1): 367.
- Privitello M., Panza A., Frigerio K., Frasinelli C. (2009). Potencial productivo estival de *Digitaria eriantha* en el semiárido templado. *32° Congreso de Prducción Animal*: 29 (1): 583-584.
- Privitello M., Sager R.L., Del Bosco G. (2001). Diagnóstico nutricional de *Digitaria eriantha* cv Irene para la vaca de cría en el ambiente semiárido argentino aplicando el sistema CNCPS. XVIII Reunión de ALPA.
- Quadros F.d., Bandinelli D.G. (2005). Efeitos da adubação nitrogenada e de sistemas de manejo sobre a morfogênese de *Lolium multiflorum* Lam. e *Paspalum urvillei* Steud. em ambiente de várzea. *Revista Brasileira de Zootecnia*: 34 (1):44-53.
- Ramírez Reynoso O., Hernández Garay A., Carneiro da Silva S., Pérez Pérez J., Enríquez Quiroz J.F., Quero Carrillo A.R., Herrera Haro J.G., Cervantes Núñez A. (2009). Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Técnica pecuaria en México*: 47 (2): 203-213.
- Ramírez Reynoso O., Hernández Garay A., Carneiro da Silva S., Pérez Pérez J., Jacaúna de Souza Júnior S., Castro Rivera R., Enríquez Quiroz J.F. (2010). Características

- morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*: 12 (2):303-311.
- Rearte D. (2011). Situación actual y prospectiva de la ganadería argentina, un enfoque regional. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*: 19 (3-4): 46-49.
- Rodrigues R., Amorim S., Mello M., Santos C., Sanchês S., Galvão C. (2014). Morphogenesis and structural characteristics of grass Xaraés under different intensities of court. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*: 15 (2):430-439.
- Rossi R., Privitello L., Bacha E.F., Lucero E. (2015a). Dinámica de la generación y expansión foliar de *Digitaria eriantha*. *38° Congreso de Producción Animal*: 35 (1): 230.
- Rossi R., Privitello M., Bacha E., Bornand C. (2015b). Intercepción de la radiación y producción de *Digitaria eriantha* sometida a defoliación. *38° Congreso de Producción Animal*: 35 (1): 231.
- Sáenz A.M., Rabotnikof C.M., Fernández L.A., Astrada G.N., Morici E.F.A. (2013). Respuesta morfogénica de macollos de *Piptochaetium napostaense* (spegazzini) Hackel ap. stuckert y *Digitaria californica* (bentham) Henrad luego de una quema. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*: 22 (2): 73-80.
- Saldanha S., Boggiano P., Cadenazzi M. (2010). Intensidad del pastoreo sobre la estructura de una pastura de *Lolium perenne* cv Horizon. *Agrociencia Uruguay*: 14 (1):44-54.
- Sanderson M.A., Moore K.J. (1999). Switchgrass morphological development predicted from day of the year or degree day models. *Agronomy journal*: 91 (4):732-734.
- Sbrissia A., Silva S., Carvalho C., Carnevalli R., Pinto L., Fagundes J., Pedreira C. (2001). Tiller size/population density compensation in grazed coastcross bermudagrass swards. *Scientia Agricola*: 58 (4):655-665.
- Silveira M.C.T.d., Nascimento Júnior D.d., Silva S.C.d., Euclides V.P.B., Montagner D.B., Sbrissia A.F., Rodrigues C.S., Sousa B.M.d.L., Pena K.d.S., Vilela H.H. (2010). Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. *Scientia Agricola*: 67 (2):136-142.
- Sousa B., Nascimento Júnior D., Silva S., Monteiro H., Rodrigues C., Fonseca D., Silveira M., Sbrissia A. (2010). Morphogenetic and structural characteristics of Andropogon grass submitted to different cutting heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*: 39 (10): 2141-2147.
- Spectrum Technologies Inc. (2011). Spad 502 Plus Chlorophyll Meter, Product Manual.
- Stritzler N. (2008). Producción y calidad nutritiva de especies forrajeras megatérmicas. *Revista Argentina de Producción Animal*: 28 (2): 165-168.
- Stritzler N., Petruzzi H., Frasinelli C., Veneciano J., Ferri C., Viglizzo E. (2007). Variabilidad climática en la Región Semiárida Central Argentina. Adaptación

- tecnológica en sistemas extensivos de producción animal. *Revista Argentina de Producción Animal*: 27 (2): 111-123.
- Taleisnik E., Pérez H., Córdoba A., Moreno H., García Seffino L., Arias C., Grunberg E., Zenoff A. (1998). Salinity effects on the early development stages of *Panicum coloratum*: cultivar differences. *Grass and forage science*: 53 (3): 270-278.
- Unruh J., Gaussoin R., Wiest S. (1996). Basal Growth Temperatures and Growth Rate Constants of Warm-Season Turfgrass Species. *Crop science*: 36 (4): 997-999.
- Van Esbroeck G., Hussey M., Sanderson M. (1997). Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science*: 37 (3): 864-870.
- Veneciano J. (2006). Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: Características y productividad. Información Técnica N° 171. Ediciones INTA.
- Veneciano J., Federigi M. (2008). Las lluvias de Villa Mercedes en el inicio de siglo. XVIª Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo. Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina. Actas: 49-53.
- Veneciano J., Frigerio K. (2008). Efecto de la fertilización nitrogenada en digitaria (*Digitaria eriantha* Steudel). *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI): 37: 12-16.
- Veneciano J., Frigerio K., Frasinelli C. (2005). Crecimiento acumulado de *Digitaria* fertilizada con nitrógeno. rendimiento y calidad forrajera. Avances de la producción vegetal y animal en el NOA. ISBN 987 - 43 - 9145 - 6. Tucumán, Argentina.
- Veneciano J., Frigerio K., Frasinelli C. (2006). Acumulación de forraje e indicadores de calidad en *Digitaria Eriantha* cv. Irene bajo diferentes frecuencias de defoliación. *RIA: Revista de Investigaciones Agropecuarias*: 35 (3): 121-133.
- Veneciano J., Terenti O. (1996). Producción anual y estacional de forraje de *Digitaria Eriantha*, con y sin fertilización. San Luis (Argentina). *Revista UNRC*: 16 (2):113-122.
- Veneciano J., Terenti O. (1997). Efectos de la defoliación y la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de *Digitaria eriantha* Steudel subsp. *eriantha* cv. Irene. *Revista de la Facultad de Agronomía – UNLPam*: 9: 41-56.
- Viglizzo E., Frank F.C., Carreno L.V., Jobbagy E.G., Pereyra H., Clatt J., Pincen D., Ricard M.F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*: 17 (2): 959-973.
- Viglizzo E., Roberto Z., Lértora F., Gay E.L., Bernardos J. (1997). Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agriculture, ecosystems & environment*: 66 (1): 61-70.
- Watson D.J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*: 11 (41): 41-76.

- Wolfe D., Henderson D., Hsiao T., Alvino A. (1988). Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal*: 80 (6): 865-870.
- Zanoniani, R. A. (2010). Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia*: 14 (3): 26-30.

7. ANEXOS

Anexo I – Tablas complementarias

Tabla 1. Modelos matemáticos de las regresiones entre la TEFm y los días según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,80	11,24	232,52	245,17
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
-0,03	5,90	-0,51	0,02	-0,00021	0,000001
<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,94	10,24	214,04	226,21
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
0,03	7,01	-0,65	0,02	-0,0003	0,0000015
<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,46	32,75	306,29	319,53
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
0,14	4,43	-0,36	0,01	-0,00014	0,00000067
<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,78	74,8	336,34	349,44
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
0,03	6,95	-0,63	0,02	-0,00029	0,0000014
<0,0001	<0,0001				

Tabla 2. Modelos matemáticos de las regresiones entre la TEFm y tiempo térmico (°C día) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,77	12,96	247,86	262,66
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
-4,66	1,06	-0,01	-0,000078	-0,0000002	2E-10
<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,91	17,43	250,22	264,67
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
-5,32	1,22	-0,02	0,0001	-0,00000026	3,2E-10
<0,0001	<0,0001				

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,7	19,82	276,11	291,08			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
-5	1,14	-0,02	0,0001	-0,00000028	3,9E-10	-1E-13	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,84	58,88	318,15	332,95			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
-6,31	1,41	-0,02	0,00012	-0,00000033	4,1E-10	-2E-13	<0,0001	<0,0001

Tabla 3. Modelos matemáticos de las regresiones entre la senescencia acumulada (mm) y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,93	37562	2287,77	2300,36			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes			
-205,63	7,79	0,03		<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4$	0,96	23136,17	2085,23	2103,75			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		Modelo	Coeficientes	
575,44	-49,08	1,13	-0,01	0,000014		<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,89	54068,47	2338,51	2351,07			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes			
				<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,97	12859,78	1839,64	1863,73			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
-516,97	67,44	-2,97	0,06	-0,00049	0,0000019	-2,8E-09	<0,0001	<0,0001

Tabla 4. Modelos matemáticos de las regresiones entre la acumulación foliar (NHT) y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,93	1,02	494,35	507,01
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
0,28	0,13	-0,00031	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,96	0,35	284,19	305,85
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
3,98	-0,25	0,01	-0,00013	0,0000063	-1,1E-09
<0,0001	<0,0001		<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,89	1,31	527,61	540,2
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
0,57	0,1	-0,00018	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,96	0,31	242,11	263,19
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
5,88	-0,44	0,02	-0,00025	0,0000016	-3,1E-09
<0,0001	<0,0001		<0,0001		

Tabla 5. Modelos matemáticos de las regresiones entre la acumulación foliar (NHT) y el tiempo térmico (°C día) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,92	1,14	514,02	526,68
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
2,25	0,01	-0,0000022	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4$	0,96	0,35	285,2	303,76
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	Modelo
0,05	0,02	-0,000018	6,3E-09	-8E-13	<0,0001
<0,0001	<0,0001		<0,0001		

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC	
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,87	1,46	545,67	558,26	
Coeficientes				p-valores		
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes		
2,04	0,01	-0,0000015	<0,0001	<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC	
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4$	0,96	0,32	249,32	267,39	
Coeficientes				p-valores		
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	Modelo	Coeficientes
-0,23	0,03	-0,000029	0,000000012	-1,9E-12	<0,0001	<0,0001

Tabla 6. Modelos matemáticos de las regresiones entre la longitud de lámina foliar del macollo (LLFm) y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,4	78077,43	1648,83	1659,88			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes				
7,8	16,75	-0,07	<0,0001	>0,05 en β_0				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,89	13864,24	1297,59	1318,83			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
1267,25	-135,39	5,99	-0,1	0,00081	-0,0000031	4,4E-09	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,29	98187,82	1659,81	1670,83			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes				
54,5	13,66	-0,06	<0,0001	>0,05 en β_0				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,91	15508,65	1118,82	1136,31			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Modelo	Coeficientes	
1303,58	-133,26	5,58	-0,08	0,00053	-0,0000012	<0,0001	<0,0001	

Tabla 7. Modelos matemáticos de las regresiones entre la longitud de lámina foliar del macollo (LLFm) y el tiempo térmico (°C día) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,41	78016,22	1648,22	1659,27			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes			
257,69	1,12	-0,0004		<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4$	0,88	15535,23	1306,33	1322,26			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	Modelo	Coeficientes		
-223,03	5,49	-0,01	0,0000039	-6,5E-10	<0,0001	<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,28	100615,85	1662	1673,01			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes			
269,36	0,9	-0,00032		<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,94	10809,65	1076,13	1096,04			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
597	-6,92	0,05	-0,00012	0,00000012	-5,4E-11	1E-14	<0,0001	<0,0001

Tabla 8. Modelos matemáticos de las regresiones entre el porcentaje de intercepción de la radiación y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,83	70,28	671,98	682,19
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
0,32	0,98	-0,003		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,8	63,98	662,76	675,53
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
-17,9	2,24	-0,01	0,000031	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,82	75,11	678,76	688,97
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
2,17	0,9	-0,0026		<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,81	92,18	697,59	710,36
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
-46,01	2,91	-0,02	0,000044	<0,0001	<0,0001

Tabla 9. Modelos matemáticos de las regresiones entre la acumulación de la radiación fotosintéticamente activa interceptada y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,99	989,6	8223,99	8247,68
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
37,58	-2,8	0,08	-0,00021	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,9986	242,23	7036,28	7059,97
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
28,62	-2,95	0,11	-0,00031	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,99	903,86	8147,09	8170,79
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
29,35	-2,33	0,07	-0,00017	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,99	1271,06	8436,87	8460,56
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
43,15	-4,16	0,12	-0,00034	<0,0001	<0,0001

Tabla 10. Modelos matemáticos de las regresiones entre TRFAi y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,79	2,21	253,78	262,77
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-4,32	0,23	-0,00085		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,75	3,32	282,63	291,62
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-4,26	0,28	-0,0011		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,79	2,09	250,27	259,26
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-3,98	0,21	-0,00076		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,74	4,02	296,37	305,36
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-5,34	0,29	-0,0012		<0,0001	<0,0001

Tabla 11. Modelos matemáticos de las regresiones entre IAF y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,84	0,18	74,95	83,94
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-1,11	0,05	-0,00015		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,73	0,44	140,18	149,18
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-1,58	0,09	-0,00033		<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,82	0,2	82,16	91,16
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-0,89	0,04	-0,00012	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,79	0,46	144,49	153,48
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-2,34	0,1	-0,00037	<0,0001	<0,0001	

Tabla 12. Modelos matemáticos de las regresiones entre el índice de clorofila (IC) y el tiempo (días) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC		
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,73	5,87	229,25	236,9		
Coeficientes				p-valores			
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes			
32,74	-0,12	0,00025	<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC		
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,9	11,64	260,16	273,54		
Coeficientes				p-valores			
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Modelo	Coeficientes
-65,45	5,56	-0,1	0,00087	-0,0000035	5,5E-09	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC		
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,64	9,54	252,63	260,28		
Coeficientes				p-valores			
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes			
33,19	-0,15	0,00035	<0,0001	<0,0001			
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC		
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,91	8,7	243,34	256,72		
Coeficientes				p-valores			
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Modelo	Coeficientes
-75,48	6,42	-0,13	0,0011	-0,0000047	7,4E-09	<0,0001	<0,0001

Tabla 13. Modelos matemáticos de las regresiones entre el índice de clorofila (IC) y el tiempo térmico (°C día) según tratamientos. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,72	6,08	230,98	238,63			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes				
30,2	-0,01	0,0000016	<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
ReN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5$	0,9	11,96	261,49	274,87			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Modelo	Coeficientes	
1,8	0,24	-0,00045	0,00000036	-1,3E-10	2E-14	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN0	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,63	9,89	254,65	262,3			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes				
30,11	-0,01	0,0000002	<0,0001	<0,0001				
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC			
RfN200	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \beta_5 x_i^5 + \beta_6 x_i^6$	0,92	8,71	242,61	257,91			
Coeficientes				p-valores				
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	Modelo	Coeficientes
-14,43	0,41	-0,001	0,00000012	-7E-10	2E-13	-2E-17	<0,0001	<0,0001

Tablas de ENSAYO 2

Tabla 14. Modelos matemáticos de las regresiones entre el porcentaje de intercepción y el tiempo (días) según tratamientos y para cada corte. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CCC	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,83	54,72	366,18	374,13
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
15,73	1,05	-0,0034	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,85	68,68	41,11	40,48
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	Modelo	Coeficientes		
-269,38	7,29	<0,0001	<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,84	45,62	80,46	81,92
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	Modelo	Coeficientes		
		<0,0001	<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,76	131,56	69	69,59
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	Modelo	Coeficientes		
-134,28	1,95	<0,0001	<0,0001		
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,9	40,79	55,97	56,76
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
1450,14	-22,97	0,09	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 5°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,84	63,55	40,64	40,01
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	Modelo	Coeficientes		
-290,55	2,18	<0,0001	<0,0001		

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 6°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,83	62,68	83,65	85,11
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-203,56	1,3		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,71	169,76	95,57	97,03
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-68,09	2,4		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,82	104,88	113,1	115,22
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-55,31	1,3		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,89	18,98	85,76	87,89
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-23,25	0,67		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,94	36,25	76,96	78,42
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-247,88	1,6		<0,0001	<0,0001

Tabla 15. Modelos matemáticos de las regresiones entre la acumulación de RFAi y el tiempo (días) según tratamientos y para cada corte. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC	
CCC	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,9973	600,83	5429,3	5451,18	
Coeficientes				p-valores		
	β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
	17,93	-2,48	0,1	-0,00026	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,91	20,71	771,72	783,26
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
1,42	-0,29	0,03	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,94	64,43	691,11	701,49
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
89,94	-5,1	0,07	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,95	80,4	604,75	614,47
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
832,22	-22,44	0,15	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,99	18,7	585,24	598,37
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
9006,16	-220,79	1,77	-0,0046	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 5°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,99	26,17	564,07	574,2
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
1937,99	-29,17	0,11	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 6°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,94	58,21	598,89	608,75
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
1088,63	-15,03	0,05	<0,0001	<0,0001	
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,95	45,02	1154,71	1170,5
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
-4,21	1,16	-0,05	0,0011	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,9	686,87	1275,83	1290,47
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
728,68	-29,91	0,37	-0,0013	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,99	87,14	1290,18	1306,06
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	β_3	Modelo	Coeficientes
2970,02	-72,58	0,56	-0,0013	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,99	19,87	608,85	619,47
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
1812,84	-23,63	0,08		<0,0001	<0,0001

Tabla 16. Modelos matemáticos de las regresiones entre la TRFA_i y el tiempo (días) según tratamientos y para cada corte. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CCC	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,63	6,28	2748,53	2766,04
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2		Modelo	Coeficientes
-1,51	0,17			<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,5	0,54	293,82	302,47
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1			Modelo	Coeficientes
-0,22				<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,6	1,69	332,9	340,69
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1			Modelo	Coeficientes
-6,68				<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,75	1,91	291,9	299,19
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-21,17	0,29		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,62	3,01	399,85	410,35
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes
	-121,61	1,88	-0,01	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 5°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,71	1,79	317,29	327,42
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes
	-132,71	1,57	-0,0044	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 6°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,58	1,06	252,31	262,17
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes
	-173,04	1,81	-0,0046	<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,61	2,05	617,78	627,25
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-1,23	0,11		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,65	3,6	568,51	577,29
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-9,97	0,19		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,55	4,44	765,82	778,53
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes
	-84,41	1,28	-0,0044	<0,0001	<0,0001

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,73	1,14	311,51	322,13
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-110,93	1,12	-0,0027	<0,0001	<0,0001	

Tabla 17. Modelos matemáticos de las regresiones entre la IAF y el tiempo (días) según tratamientos y para cada corte. Valores de los coeficientes, R², ECMP, AIC, BIC y p-valores.

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CCC	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2$	0,8	0,64	126,89	134,84
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-1,85	0,08	-0,0023	<0,0001	<0,0001	

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,92	0,1	2,19	1,57
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-15,38		0,39	<0,0001	<0,0001	

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,81	0,07	1,73	3,19
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-2,06		0,05	<0,0001	<0,0001	

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,62	0,15	8,5	9,09
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-3,31		0,05	<0,0001	<0,0001	

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,81	0,11	4,77	5,37
Coeficientes				p-valores	
β_0	β_1	β_2	Modelo	Coeficientes	
-6,85		0,06	<0,0001	<0,0001	

Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 5°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,74	0,13	3,62	2,99
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-10,19	0,07		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CTF 6°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,45	0,09	5,06	6,51
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-2,59	0,02		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 1°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,76	0,24	16,72	18,17
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-3,66	0,1		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 2°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,73	0,27	23,01	25,13
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
				<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 3°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,9	0,09	5,69	7,82
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-4,66	0,05		<0,0001	<0,0001
Tratamiento	Ecuación	R ²	ECMP	AIC	BIC
CVMF 4°	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$	0,8	0,07	1,64	3,1
Coeficientes				p-valores	
	β_0	β_1		Modelo	Coeficientes
	-5,43	0,04		<0,0001	<0,0001

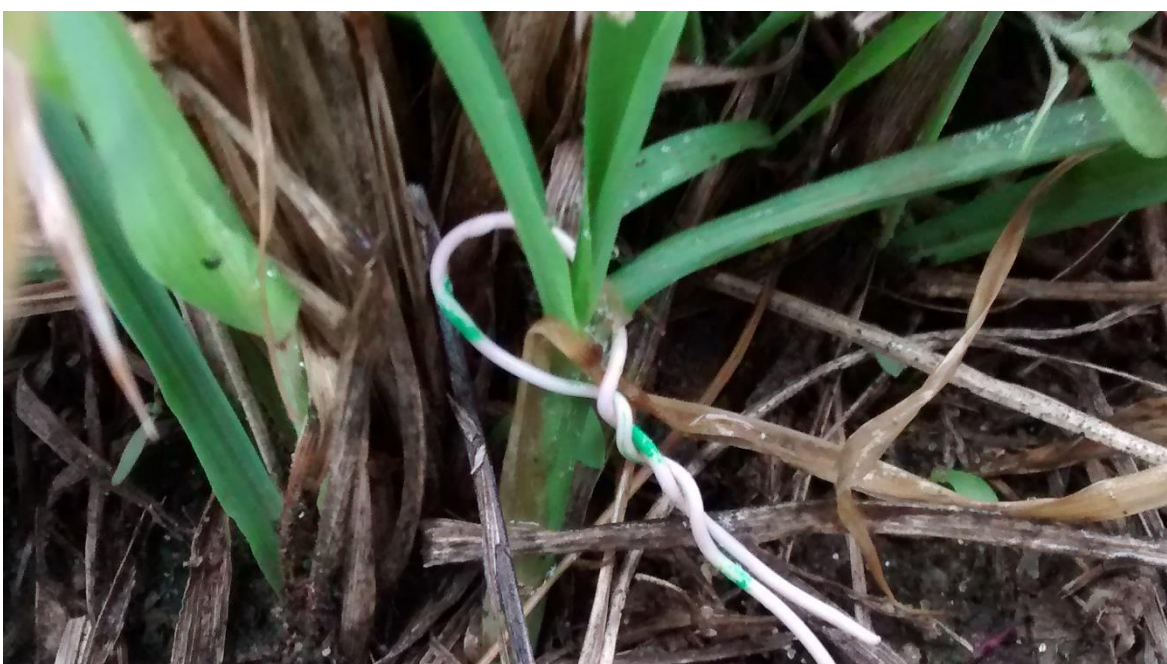
Tabla 18. Coeficientes y valores de ajuste para el modelo de regresión de la relación entre IAF y la intercepción de la radiación.

Modelo	Ecuación	R ²	p-valores	
			Modelo	Coefficientes
IAF (f) IR	$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3$	0,96	<0,0001	<0,0001
Coeficientes				
β_0	β_1	β_2	β_3	
0,058094	0,45428	-0,079644	0,004796	

ANEXO II – Fotos

Inicio de rebrote; marcado de macollos con cable telefónico y chapa identificadora.
Macetas con cinta blanca reciben Rf.





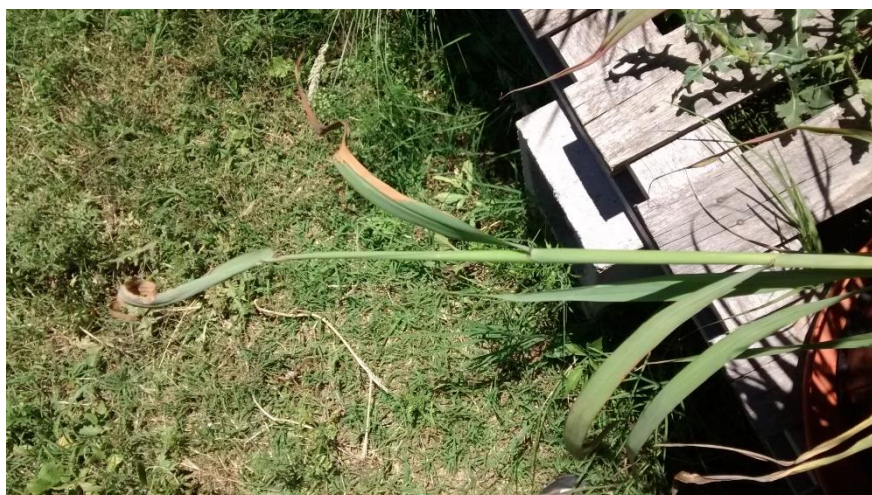
Efecto de la restricción hídrica y térmico en momentos particulares del ciclo: 26/11/15; 10/12/15; y 20/01/15.

Fecha: 26/11/15 rápido avance de senescencia entre mediciones sucesivas





Fecha: 10/12/15







Fecha: 20/01/15





Macollo de RfN200 se secó posterior a fuerte estrés. Fotos del 21/01/15 y 27/01/15



Fecha: 27/01/15



Hojas finas y muy largas de tratamientos sin fertilizar vs fotos de hojas fertilizadas

Sin Fertilizar



Fertilizadas



21/12/15 – plantas no fertilizadas vs fertilizadas

Fertilizadas



No fertilizadas



No fertilizada adelante; fertilizada detrás

