

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA AL RIEGO SUPLEMENTARIO
DE *Festuca arundinacea*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum* y *Pennisetum
purpureum* cv *Mott* DURANTE EL PERÍODO ESTIVAL.

por

Sebastián AGUIRRE GRAÑA
Nazario IRAZABAL MARRA
Ismael OTEGUI DUARTE

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2013

Tesis aprobada por:

Director

Ing. Agr. Ph.D. Pablo BOGGIANO

Ing. Agr. MSc. Ramiro ZANONIANI

Ing. Agr.MSc. Luis GIMÉNEZ

Ing. Agr. Daniel FORMOSO

Fecha: 23 de setiembre de 2013

Autores:

Sebastián AGUIRRE GRAÑA

Nazario IRAZABAL MARRA

Ismael OTEGUI DUARTE

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de Tesis Ing. Agr. Dr. Pablo Boggiano, por la ayuda en la realización de este trabajo.

Al Ing. Agr. (MSc) Ramiro Zanoniani por la buena disposición a la hora de atender nuestras inquietudes y facilitarnos los materiales para realizar el trabajo de campo.

Al Ing. Agr. (MSc) Luis Giménez por estar siempre pendiente de la irrigación que hizo posible la realización de este trabajo.

A la Ing. Agr. (PhD) Mónica Cadenazzi por los análisis estadísticos de la información.

Al Toro, Antonio Ustra, por su ayuda en el trabajo de campo.

A nuestras familias y amigos.

A la Lic. Sully Toledo por su buena disposición en la corrección de este trabajo.

A Marianella por su gran apoyo brindando materiales para la realización del mismo.

A Carolina Queraltó por la traducción del resumen de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES	3
2.1.1. <u>Festuca arundinacea cv. Tacuabé</u>	3
2.1.2. <u>Paspalum notatum var. Saurae cv. Pensacola</u>	4
2.1.3. <u>Paspalum dilatatum. subsp. dilatatum</u>	5
2.1.4. <u>Pennisetum purpureum cv. Mott</u>	6
2.2. MECANISMO FOTOSINTÉTICO	7
2.2.1. <u>Mecanismo fotosintético C3</u>	7
2.2.2. <u>Mecanismo fotosintético C4</u>	8
2.2.3. <u>Eficiencia del uso de agua según mecanismo fotosintético</u>	9
2.3. RESPUESTA AL RIEGO.....	11

2.3.1. <u>Respuesta al riego en producción de materia seca</u>	11
2.3.2. <u>Respuesta al riego en la partición de materia seca</u>	18
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	21
3.1. UBICACIÓN	21
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	21
3.3. DURACIÓN DEL PERIODO EXPERIMENTAL	21
3.4. ANTECEDENTES DEL SITIO EXPERIMENTAL	21
3.5. ESPECIES, SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN	21
3.6. MÉTODO DE RIEGO	22
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS.....	23
3.7.1. <u>Distribución de las parcelas</u>	23
3.7.2. <u>Criterios de riego</u>	24
3.7.3. <u>Parcelas</u>	24
3.8. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	25
3.8.1. <u>Momento de evaluación</u>	25
3.8.2. <u>Mediciones</u>	25
3.9. HIPÓTESIS	28
3.10. MODELOS ESTADÍSTICOS	29
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	30

4.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL	30
4.1.1. <u>Precipitaciones y riegos</u>	30
4.1.2. <u>Temperatura</u>	31
4.1.3. <u>Radiación solar</u>	32
4.2. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA	33
4.2.1. <u>Producción de materia seca total</u>	33
4.2.2. <u>Producción de materia seca según fracción</u>	35
4.2.3. <u>Producción de materia seca malezas</u>	37
4.2.4. <u>Proporción en la materia seca total de las fracciones materia seca lámina + tallo (%), lámina, tallo y malezas</u>	39
4.2.5. <u>Producción de materia seca total en período seco y período lluvioso</u>	41
4.2.6. <u>Producción de materia seca de lámina + tallo en período seco y período lluvioso</u>	43
4.2.7. <u>Producción de materia seca lámina en período seco y período lluvioso</u>	45
4.2.8. <u>Producción de materia seca tallo en período seco y período lluvioso</u>	48
4.2.9. <u>Producción de materia seca malezas en período seco y período lluvioso</u>	50
4.3. TASAS DE CRECIMIENTO.....	51

4.3.1.	<u>Tasa de crecimiento de materia seca total en período seco y período lluvioso</u>	51
4.3.2.	<u>Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo en período seco y período lluvioso</u>	52
4.3.3.	<u>Tasa de crecimiento de materia seca lámina en período seco y período lluvioso</u>	54
4.3.4.	<u>Tasa de crecimiento de materia seca tallo en período seco y período lluvioso</u>	56
4.3.5.	<u>Tasa de crecimiento de materia seca de malezas en período seco y período lluvioso</u>	57
4.4.	MACOLLOS	58
4.4.1.	<u>Número de macollos por metro cuadrado</u>	58
4.4.2.	<u>Peso de los macollos</u>	60
4.4.3.	<u>Peso de la fracción lámina de los macollos</u>	61
4.4.4.	<u>Peso de la fracción vaina de los macollos</u>	62
4.4.5.	<u>Peso de la porción caña de los macollos</u>	63
4.4.6.	<u>Proporción de lámina (%) en el peso de los macollos</u>	63
4.4.7.	<u>Proporción de vaina (%) en los macollos</u>	65
4.4.8.	<u>Proporción de caña (%) en los macollos</u>	65
4.5.	PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA POR MM DE AGUA.....	65
4.5.1.	<u>Respuesta al agregado de agua en producción de materia seca lámina + tallo</u>	67

4.6. PRODUCCIÓN DE MS/GD	68
4.6.1. <u>Festuca arundinacea</u>	68
4.6.2. <u>Paspalum notatum</u>	69
4.6.3. <u>Paspalum dilatatum</u>	69
4.6.4. <u>Pennisetum purpureum</u>	70
4.7. RELACIÓN ALTURA/GD.....	70
4.7.1. <u>Festuca arundinacea</u>	71
4.7.2. <u>Paspalum notatum</u>	72
4.7.3. <u>Paspalum dilatatum</u>	73
4.7.4. <u>Pennisetum purpureum</u>	74
4.8. CONSIDERACIONES FINALES	75
5. <u>CONCLUSIONES</u>	78
6. <u>RESUMEN</u>	79
7. <u>SUMMARY</u>	80
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	81

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Estimación de respuesta al riego (kg/ha de MS) en leguminosas	12
2. Estimación de respuesta al riego (kg/ha de MS) en gramíneas.....	13
3. Referencias de los distintos tratamientos según sea la combinación entre los factores manejo de agua y especie forrajera	23
4. Producción promedio de materia seca total según especie.....	33
5. Producción de materia seca promedio según fracción y especie	35
6. Producción de materia seca de lámina + tallo promedio según nivel de riego	36
7. Producción de materia seca (kg/ha) de malezas según especie y nivel de riego	38
8. Proporción de materia seca de lámina + tallo, lámina, tallo y malezas según especie (%)	40
9. Producción de materia seca total (kg/ha) promedio entre período seco y lluvioso según especie	41
10: Producción promedio entre especies de materia seca total (kg/ha) según período y nivel de riego.....	42
11. Producción de materia seca total (kg/ha) promedio de los manejos de agua por especie según período.	42
12. Producción promedio de materia seca lámina + tallo (kg/ha) según especie	43
13. Producción de materia seca de lámina + tallo (kg/ha promedio por nivel de riego según período	44

14. Producción de materia seca de lámina + tallo (kg/ha) según especie y período	45
15. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según nivel de agua	45
16. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según especie	46
17. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según interacción período y nivel de riego	47
18. Producción promedio por especie de materia seca lámina (kg/ha) según período.....	48
19. Producción de materia seca tallo (kg/ha) en promedio según especie	49
20. Producción de materia seca de tallo (kg/ha) en promedio por nivel de riego según período.....	49
21. Producción de materia seca de malezas (kg/ha) promedio por especie	50
22. Tasa de crecimiento diario (TC) promedio según especie, en kg/ha/d de MS	51
23. Tasa de crecimiento promedio (kg/ha/d de MS) según nivel de riego y período.....	52
24. Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según especie	53
25. Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego	54
26. Tasa de crecimiento de materia seca lámina (kg/ha/d de MS) en promedio según especie	55

27. Tasa de crecimiento de materia seca de lámina (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego.....	55
28. Tasa de crecimiento de materia seca tallo (kg/ha/d de MS) en promedio por especie	56
29. Tasa de crecimiento de materia seca de tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego.....	57
30. Tasa de crecimiento de materia seca (kg/ha/d de MS) de malezas en promedio según especie y período.....	58
31. Densidad de macollos (macollos/ m ²) según especie y nivel de riego	59
32. Peso de 20 macollos en promedio (g) según especie	60
33. Peso de la porción lámina (g) en promedio según especie	62
34. Peso de la fracción vaina (g) en promedio según especie.....	62
35. Proporción de lámina (%) en el peso de los macollos en promedio según especie	63
36. Proporción de lámina (%) en los macollos según especie y nivel de riego	64
37. Producción de materia seca en respuesta al agregado de agua, según período y fracción de planta.....	66
38. Respuesta en producción de materia seca lámina + tallo al agregado de agua en período central.....	67
39. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de <i>Festuca arundinacea</i>	68
40. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de <i>Paspalum notatum</i>	69

41. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de <i>Paspalum dilatatum</i>	69
42. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de <i>Pennisetum purpureum</i>	70
43. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en <i>Festuca arundinácea</i>	71
44. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en <i>Paspalum notatum</i>	72
45. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en <i>Paspalum dilatatum</i>	73
46. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en <i>Pennisetum purpureum</i>	74

Figura No.

1. Croquis del experimento que muestra la disposición de los bloques y los tratamientos.....	24
2. Distribución de las precipitaciones y agua agregada en los distintos manejos de riego.....	30
3. Distribución de la temperatura media, máxima y promedio por fecha	31
4. Radiación total acumulada por corte y por período	32

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción animal del Uruguay son sustentados por una base de alimentación principalmente pastoril, con mayores o menores participaciones de praderas, verdes y campos naturales mejorados según sea la intensificación de los diferentes establecimientos.

Sin embargo, la producción tanto del campo natural como de las mejoras es muy dinámica y lleva a situaciones de excesos y déficit, haciendo que constantemente cambie tanto la cantidad como la calidad del forraje ofrecido cada año y entre años, como consecuencia de situaciones climáticas o estado de las pasturas (Carámbula, 2007).

Los espacios cada vez más reducidos en el territorio Nacional para la producción animal debido a la gran expansión tanto agrícola como forestal y la competencia con estos rubros, hacen cada vez más necesarios sistemas de producción intensivos, con usos más eficientes de los recursos, que permitan optimizar y maximizar la producción. A su vez, los sistemas de producción más intensivos hacen que la estabilidad del sistema en cuanto a la oferta de forraje tenga que ser mayor ya que no se puede producir bien en las estaciones de abundancia de forraje y mal en las estaciones de escasez del mismo.

Una opción para superar estas limitantes podría basarse en las reservas de forraje para alimentar a los animales en estaciones de escasez (Ribeiro et al., 2001). Según Cunha et al. (2008), otra opción podría ser la de implementar sistemas de irrigación que permitan aumentar la oferta de forraje en momentos de escasez de agua y evitar déficit de forraje en verano tanto en calidad como en cantidad, y favorecer además la persistencia de las pasturas.

Según Baethgen y Terra (2010) el cambio climático ya es una realidad y está instalado en la región, producto de las altas emisiones de carbono a nivel mundial. Este cambio climático se refiere a la variabilidad climática existente en periodos largos de tiempo, ya sean décadas o siglos. Los autores mencionaron que las precipitaciones medias a lo largo de los años muestran una tendencia ascendente, así como también la intensidad de las mismas y la evaporación, lo que provoca un aumento en los índices de escorrentía. A su vez, destacaron la

gran variabilidad climática intra-anual, que provoca periodos de abundancia de precipitaciones y periodos de gran escasez de las mismas.

La implementación de sistemas de riego sería una forma de solucionar algunos de los problemas planteados. Un sistema de riego bien formulado, con áreas destinadas a la reserva de agua, podría facilitar la recolección de la misma cuando las lluvias sean abundantes, facilitado por la mayor escorrentía, y a su vez, esta agua recolectada podría ser utilizada con el fin de producir forraje en periodos de escasez (verano), estabilizando la producción y favoreciendo la persistencia de las pasturas.

El uso del agua para riego de pasturas debe considerar que el agua es un recurso escaso y ésta tecnología es de alto costo, por lo cual deben regarse especies que presenten una alta eficiencia en el uso del agua para la producción de forraje, de forma que el área a regar sea la menor posible de manera de no sobredimensionar los equipos y los costos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta en producción de forraje de cuatro gramíneas perennes bajo diferentes niveles de riego, midiendo la producción de materia seca, sus fracciones y la eficiencia del uso del agua durante el periodo estival.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES

2.1.1. *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé

Especie templada, perenne, de ciclo de producción invernal y hábito de crecimiento cespitoso. Se adapta bien a un alto rango de suelos, desde medios a pesados, ácidos a alcalinos, y húmedos aunque tolera sequías si es bien manejada durante el verano (Carámbula, 2007). Festuca de tipo continental que se destaca su buena persistencia con buena precocidad otoñal, rápido rebrote de fines de invierno y floración temprana (Ayala et al., 2010).

Tiene una elevada exploración radicular que le permite resistir a las sequías. Cuando en la primavera se la maneja con alta frecuencia y baja intensidad se estimula el crecimiento radicular y es más factible que la planta pueda absorber agua de horizontes más profundos, haciéndola más tolerante al estrés hídrico (Carámbula, 2007).

Si bien es una especie de alto valor forrajero, este decrece sustancialmente en floración, lo que hace que su manejo deba ser especialmente cuidadoso para que no se “pase” o endurezca y comprometa el desempeño animal (Carámbula, 2007). Como consecuencia de ello, en primavera el manejo debe ser frecuente, evitando así la floración de macollos.

Según Formoso (2010) Tacuabé es un cultivar sintético creado en La Estanzuela con el fin de superar ciertas limitantes que tenía la variedad más utilizada en el país, Kentucky 31(K31). Según García y Millot (1978), García et al. (1991) se buscaba aumentar: la producción otoño-invernal, la persistencia productiva y la fuerza de competencia con respecto a trébol blanco.

En cuanto a la producción, García et al. (1983) encontraron una supremacía del cultivar Tacuabé frente a El Palenque en 7 de los 8 ambientes estudiados, con incrementos en el rendimiento de forraje anual del 10% y en el invernal del 21%. En el mismo trabajo se encontró una supremacía del 28% en el rendimiento de forraje anual y del 46% en el invernal a favor de Tacuabé cuando se la comparó con Kentucky 31.

García y Millot (1978), midieron la producción al quinto año de mezclas conformadas por Tacuabé y K31, con el fin de evaluar la persistencia de los cultivares. En este sentido, la mezcla conformada por Tacuabé superó en un 66% a la conformada por K31, y el forraje aportado solo por Festuca la superó en un 99%. Según Formoso (2010), esta mayor persistencia es atribuible al origen del material genético de Tacuabé, que incluye materiales recolectados de praderas muy viejas de todo el país, lo que le da al cultivar alta persistencia y adaptabilidad a las distintas condiciones ambientales y de producción.

En cuanto a la fuerza de competencia de Festuca Tacuabé frente al trébol blanco, tanto García y Millot (1978) como García et al. (1983), coinciden en que Tacuabé fue superior a El Palenque y a K31 cuando se medía la producción de Festuca, en tanto que la producción de trébol blanco era menor. Esto determina mezclas más equilibradas y con menores posibilidades de producir meteorismo al bajar la proporción de blanco en la mezcla.

Se eligió la variedad Tacuabé por ser una variedad nacional, con alta estabilidad y persistencia, además de una alta producción estival. Según la Evaluación de cultivares del convenio INIA-INASE del 2010, Tacuabé sembrada en 2008 produjo en los años 2009 y 2010 en el período del 15/12 al 02/05 4351 kg/ha MS. Encontrándose dentro de los cultivares de mayor producción estival. Sería lógico buscar variedades de alta producción estival además de alta estabilidad productiva y persistencia.

2.1.2. *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. Pensacola

Gramínea subtropical C4 perenne, de ciclo estival (noviembre-abril). Hábito de crecimiento estolonífero, con estolón rizomatiforme (Rosengurtt et al., 1970). Según Pizarro (2000), Jia et al. (2009), presenta sistema radicular profundo y agresivo que se adapta a suelos livianos y arenosos de baja fertilidad y alta saturación de aluminio. Según Rechcigl et al. (1993) *P. notatum* tiene buena tolerancia a niveles altos de Al y buen comportamiento agronómico en suelos con pH 4,5. Debido a su rusticidad, persistencia, adaptación a suelos de baja fertilidad y fuerte sistema radicular, se utiliza en márgenes de rutas o campos de golf para evitar erosión, además de ser una forrajera adaptada al pastoreo directo o henificación.

Es originaria de Sudamérica, conocida como pasto Bahia o pasto horqueta. El cultivar Pensacola fue mejorado en el sudeste de los Estados Unidos, siendo una de las especies más difundidas en el estado de Florida (Haddad et al., 1999).

P. notatum cv. Pensacola es un material diploide, que comienza a producir antes y termina su ciclo después que los cultivares tetraploides (Chambliss y Adjei, citados por Interrante et al., 2009). La producción de materia seca de este cultivar alcanza los 2,74 Mg/ha MS, variando su contenido de proteína cruda entre 9,8 y 11% (Muchovej y Mullahey, citados por Juárez Hernández y Bolaños Aguilar, 2007).

2.1.3. *Paspalum dilatatum*. subsp. *dilatatum*

Gramínea subtropical C4, perenne, de ciclo de producción estival, hábito de crecimiento cespitoso con rizomas cortos, gruesos y vigorosos (Pizarro, 2000). Según Rosengurtt et al. (1970), presenta hojas con matices morados a violáceos, lígula truncada y lámina glabra o con pelos largos raramente densos y vaina pubescente.

Según García (1971), no tiene un periodo vegetativo bien definido y su mayor limitante es la baja y errática producción de semillas. El autor sostiene que uno de los principales problemas para expandir esta especie es el bajo porcentaje de semillas llenas, lo que se asocia con un bajo porcentaje de germinación. Afirma que esto se debe a efectos producidos por el ataque del hongo *Claviceps paspali* y por las condiciones ambientales al momento de la floración. Boggiano (1990), en cambio, encontró que de catorce gramíneas evaluadas, *Paspalum dilatatum* fue de las especies que presentó mayores valores de resiembra.

Presenta un crecimiento inicial lento, lo que lo deja expuesto a competencia por otras especies, dificultando así su implantación. Esta puede realizarse tanto en otoño como en primavera, siempre y cuando se realice temprano. Sin embargo, las mejores condiciones se dan en agosto, donde las temperaturas en aumento favorecen el rápido desarrollo de plántulas y una buena implantación (Carámbula, 2007).

Se adapta bien a suelos profundos y fértiles, resiste sequías y tolera excesos hídricos gracias a su sistema radicular extenso, fuerte y profundo (Carámbula, 2007). Según Rosengurtt (1946), no sólo aparece en campos vírgenes, sino que además se lo puede encontrar en rastrojos, ya que es una de las gramíneas que demora más en desaparecer en las degeneraciones pratenses, aunque no es agresiva.

El período productivo abarca desde octubre a mayo, con latencia invernal. En cuanto al manejo del pastoreo, requiere pastoreos frecuentes e intensos para mantener calidad, resistiendo bien el pisoteo y el diente, ya que la mayoría de los rebrotes se producen a partir de yemas ubicadas por debajo del suelo (Carámbula, 2007). Según Benech, citado por Carámbula (2007), los mayores rendimientos se obtuvieron con los cortes más bajos. Mas (2007), reportó valores de producción de 7120 y 4710 kg/ha MS para riego y secano respectivamente.

2.1.4. *Pennisetum purpureum* cv. Mott

Especie C4, perenne, de ciclo de producción estival, rizomatosa (Carámbula, 2007). Porte erecto, capaz de producir hasta 50 Mg/ha MS en zonas tropicales húmedas con buen nivel de fertilización y bajo regímenes de corte (Roig, 2004).

Según Carámbula (2007), prefiere suelos fértiles, bien drenados y por lo general no resiste sequías extensas debido a que su sistema radicular se encuentra en los primeros 15 cm de profundidad. Crece bien en regiones cálidas (30-35°C) (Ferraris, 1978), temperaturas por debajo de 10°C detienen el desarrollo (Bogdan, citado por Roig, 2004). Las heladas matan las hojas y los tallos aéreos, mientras que los órganos subterráneos permanecen intactos y el crecimiento se reinicia en la primavera siguiente (Roig, 2004).

La siembra recomendada es a través de rizomas, aunque puede instalarse por macollas, entre fines de agosto y octubre, en hileras distanciadas entre 1,5 y 1,0 m y a 0,5 m dentro de la línea. Es una planta protógena, por lo tanto, no produce semillas, el estigma se desarrolla y muere antes de que las anteras maduren (Carámbula, 2007).

El manejo del pastoreo debe ser cuidadoso, manteniéndose las plantas a no más de 1,20 metros de altura y dejando remanentes superiores a los 0,30 metros con buenas fertilizaciones nitrogenadas (Carámbula, 2007).

Según Cáceres y Martinelli (2010) el cultivar Mott, denominado también pasto elefante enano, fue inicialmente registrado como "TIFTON 75" por Hanna y Monsón en 1988, y luego Sollemlerger, en 1989, lo denominó cultivar Mott. Según Vasquez et al. (2000), este cultivar fue seleccionado en 1977 a partir de una progenie auto fecundada del híbrido Merkeron.

El pasto elefante cv. Mott crece formando matas de hasta 1 m de diámetro, alcanzando hasta 120 macollos/mata. Las matas se expanden por crecimiento lateral de los nudos o por medio de rizomas cortos y carnosos. Los tallos tienen hasta 20 entrenudos cortos (Roig, 2004). Las hojas son largas, desde 30 a 120 cm de longitud y de 1 a 5 cm de ancho (Skerman y Riveros 1990, Bogdan, citado por Roig 2004).

Las plantas del cultivar Mott tienen la misma cantidad de hojas que los ecotipos altos, pero gracias a los entrenudos cortos (3 cm) alcanzan alturas menores (1,6 m frente a 4,0 m o más del cultivar Merkeron), lo que resulta en una relación hoja tallo mayor (Hanna y Monsón 1988, Sollemlerger et al. 1989).

2.2. MECANISMO FOTOSINTETICO

Los mecanismos de fijación de CO₂ en plantas superiores siguen tres modelos fotosintéticos, el de plantas C₃, C₄ y el de las CAM (Crassulacean Acid Metabolism) (Björkman 1973, Monson 1989).

2.2.1. Mecanismo fotosintético C₃

En la ruta de asimilación de dióxido de carbono se diferencian 3 fases (Nelson y Cox, 2001). La primera corresponde a la fijación del CO₂, incorporándose esta molécula a la Ribulosa 1,5-bisfosfato (RuBP) por medio de la enzima denominada RuBisCo. El primer producto estable después de la carboxilación es el ácido 3 fosfoglicérico (3PGA), un compuesto de 3 carbonos, al que se debe la denominación de ciclo C₃. La segunda fase corresponde a la reducción del carbono fijado a hidratos de carbono, proceso que requiere poder

reductor y energía generados en la cadena de transporte electrónico (fase lumínica). La última fase corresponde a la regeneración de la RuBP, proceso que también requiere aporte energético (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Según Nelson y Cox (2008), debido a la característica de oxigenasa-carboxilasa de la enzima rubisco se genera fotorrespiración, reacción secundaria costosa de la fotosíntesis resultado de la actividad oxigenasa de la enzima. El oxígeno compite con el dióxido de carbono en el sitio activo generando 3 fosfoglicerato y 2 fosfoglicolato, este último producto sin utilidad metabólica. La recuperación de los carbonos del fosfoglicolato utiliza cantidades significativas de energía celular y libera dióxido de carbono fijado previamente. Al fotorrespirar se libera CO_2 y se consume energía por lo cual reduce la eficiencia fotosintética de la planta.

2.2.2. Mecanismo fotosintético C4

Las plantas con mecanismo fotosintético C4 reducen la fotorrespiración ya que la fijación de CO_2 y la actividad rubisco están separadas espacialmente (Nelson y Cox, 2008). En las células del mesófilo, la PEP (fosfoenolpiruvato) carboxilasa incorpora el CO_2 a una molécula de fosfoenolpiruvato (PEP de 3 carbonos) que se transforma en oxalacetato (de cuatro carbonos). Debido a esta reacción se lo conoce como mecanismo C4. El oxalacetato se transforma en malato o aspartato, el cual pasa a las células de la vaina con cloroplastos, donde es descarboxilado generando una molécula de 3 carbonos y liberando CO_2 a altas concentraciones. El CO_2 es fijado por la enzima rubisco dándose el resto de las reacciones del ciclo de Calvin igual que en plantas C3; y la molécula de 3 carbonos vuelve a la célula del mesófilo regenerando PEP (Björkman 1973, Monson 1989).

Las plantas C4 cuentan con una enzima denominada PEP-carboxilasa, encargada de fijar CO_2 a las células del mesófilo, para que luego este quede disponible como sustrato de la enzima RubisCO. Esta actividad previa es muy importante porque mantiene a la RubisCO con concentraciones más elevadas de CO_2 . Björkman (1995) sugiere que además, las plantas C4 pueden tomar el CO_2 liberado de la fotorrespiración antes que este escape de la planta por los estomas. Además, la PEP-carboxilasa es más eficiente con temperaturas más elevadas, lo que hace que con menores niveles de conductancia estomática se mantengan elevadas las concentraciones de CO_2 en las hojas. Las plantas C4 son capaces, gracias a estas características, de mantener elevadas las

concentraciones de CO₂ ante condiciones de menor conductancia estomática causado por elevada temperatura o déficit hídricos. Esto hace que los períodos estivales (con mayor temperatura y probabilidad de déficit hídrico), las plantas C4 sean capaces de fijar más CO₂, y por lo tanto, de producir más biomasa.

2.2.3. Eficiencia del uso de agua según mecanismo fotosintético

Las plantas pierden agua a expensas de fijar carbono. La relación entre la fotosíntesis y la transpiración es una medida de eficiencia de uso de agua. Teóricamente esta relación es una función de la concentración interna de CO₂ en la hoja y la diferencia entre la hoja y la presión del vapor de aire. Como las plantas C3 mantienen una concentración de CO₂ mayor en las hojas que las plantas con mecanismo C4, se espera una menor eficiencia en el uso del agua (EUA) para las C3 en condiciones ambientales similares (Jones, 1983).

Taylor et al. (2009) comparando rasgos ecofisiológicos entre C3 y C4 encontraron que la mayor diferencia estaba en la EUA. La misma dada por una menor conductancia estomática de las C4. Kalapos et al. (1996) comparando una C3 anual (*Triticum aestivum*) con una C4 anual (*Targus racemosus*) encontraron el mismo comportamiento para las variables mencionadas.

Según Evans et al. (2011) especies C4 tienen mejor tasa de asimilación de CO₂ para una determinada conductancia estomática en comparación con mecanismos C3. Y la mayor eficiencia en uso de agua de las C4 está dada debido a que operan con un rango menor de presión parcial de CO₂.

Mc Carron y Knapp (2001) encontraron que *Andropogon gerardii* (C4) fue más eficiente en el uso del agua que *Cornus drummondii*, *Prunus americana* y *Rhus glabra* (especies C3). Chaieb et al. (1996) reafirman la superioridad en EUA por las especies C4, en este caso *Cenchrus ciliaris* que fue comparada contra *Stipa lagascae* (C3).

Vitkauskaitė y Venskaityte (2011) compararon la resistencia al déficit hídrico de *Hordeum vulgare* L. (C3) y *Panicum miliaceum* L. (C4), encontrando que la C4 fue menos afectada en tasa fotosintética, conductancia estomática, tasa de transpiración, concentración de CO₂ y fue mayor su eficiencia en uso de

agua. Igualmente la tasa fotosintética y el crecimiento de la C3 se recuperó primero, luego de restablecidas las condiciones hídricas.

André (2011) afirma que la estrategia de las plantas C4 y su sistema de bomba de CO₂ permite mantener mayores presiones internas de CO₂ a una menor apertura estomática, y por tanto disminuir la transpiración. Este proceso incrementa la eficiencia de uso de agua instantánea en hoja así como a nivel del cultivo. El autor menciona que la gran ventaja de las C4 es la independencia del rendimiento con respecto a las altas temperaturas. Por el contrario en condiciones templadas, la baja intensidad de luz es una clara desventaja para estas especies. Las C3 en cambio, se desarrollan mejor en estos climas, ya que bajan su tasa de fotorrespiración y porque no necesitan energía para la fijación primaria de CO₂, que si precisan los metabolismos C4.

Nippert y Knapp (2007) mencionan que en los períodos de alta disponibilidad hídrica las diferencias en cuanto al uso de agua de las especies C3 o C4 son pequeñas, mientras que en periodos de seca, las especies C3 utilizan proporcionalmente más agua que las especies C4.

No obstante Karatassiou y Noitsakis (2010) evaluaron la EUA entre dos gramíneas C3 anuales (*Avena fatua* y *Dasypyrum villosum*) y una gramínea C4 perenne (*Dichanthium ischaemum*) bajo condiciones de secano, no encontrando diferencias significativas entre *D. villosum* y *D. ischaemum*. Baldocchi (1994) tampoco encontró diferencias significativas en EUA comparando un trigo de dosel cerrado contra un maíz de dosel abierto, donde el trigo produjo mayor cantidad de biomasa aérea.

Ritchie (1974) indicó que la EUA sería mayor si las plantas experimentaran un moderado déficit hídrico que provoque a las raíces absorber agua de las capas más profundas del suelo. Rawson et al. (1977) demostraron con experimentos en trigo que la eficiencia en el uso de agua fue mayor en aquellos tratamientos que tuvieron déficit hídricos. Aggarwal y Sinha (1983), evaluando la eficiencia de uso del agua bajo condiciones de riego y secano, encontraron que la EUA fue mayor en los tratamientos de secano para dos variedades de trigo evaluadas.

Según Aggarwal y Sinha (1983) la EUA es una función de la materia seca producida y no tiene relación estadística directa con los parámetros climáticos. La eficiencia en el uso de agua para las plantas con mecanismo fotosintético C3 no tiene por qué ser menor que las plantas con mecanismo fotosintético C4, si las comparaciones son hechas con plantas que crecen en condiciones óptimas. Gifford (1974) revisando datos sobre el crecimiento y la asimilación fotosintética de sistemas C3 y C4, no encontró ninguna diferencia aparente entre valores de EUA más altos de ambos grupos, cuando estos son cultivados en sus nichos ecológicos.

Neal et al. (2011) evaluando la eficiencia de uso del agua de varias especies, encontraron que *Pennisetum clandestinum* cv. Hochst fue la especie de mayor EUA, encontrando una relación positiva entre el rendimiento en MS y EUA. Por tanto habría que maximizar los rendimientos para optimizar el uso del agua, con la elección de especie a regar, y los demás factores del ambiente que permitan maximizar el rendimiento.

2.3. RESPUESTA AL RIEGO

2.3.1. Respuesta al riego en producción de materia seca

Es esperable que la irrigación provoque aumentos en la producción de materia seca, al mejorar el confort hídrico en el período estival. Distintos trabajos apoyan este supuesto, donde por lo general, a niveles crecientes de riego aumentan la producción de MS.

Un estudio realizado por Mas (2007), sugiere que la elección de las especies a sembrar debe estar orientada a maximizar la respuesta de producción, estimada en unidades de materia seca por cantidad de agua agregada. El autor sostiene que se deberían elegir especies de ciclo estival, con el objetivo de hacer coincidir el período de mayor potencial de producción (temperatura y radiación) con el ciclo de producción de la pastura. En tal sentido, deja de lado a la especie *Phalaris aquatica* por su dormancia estival, a *Festuca arundinacea*, porque si bien responde al estímulo hídrico, su utilización durante el período estival hace que los rebrotes otoñales se difieran al invierno, lo que compromete su competitividad y persistencia, y a *Trifolium repens* por su baja capacidad de producir en el verano.

Cuadro No. 1. Estimación de respuesta al riego (kg/ha de MS) en leguminosas

ESPECIE	RIEGO	SECANO	R/S
<i>Lotus corniculatus</i>	9030	4650	1,9
<i>Desmodium intortum</i>	7200	2940	2,4
<i>Lotononis bainesii</i>	8090	2880	2,8

Fuente: adaptado Mas (2007).

En el cuadro anterior (Mas, 2007), se aprecia que *Lotus corniculatus* fue la especie que alcanzó mayor producción bajo riego, y además, gracias a su extenso sistema radicular, fue la especie que alcanzó mayores rendimientos en secano, provocando que el cociente riego/secano (R/S) presentado sea el menor. Las otras especies alcanzaron rendimientos satisfactorios, y cociente R/S mayores, lo cual demuestra su baja adaptabilidad a condiciones de secano.

Martiniello (1999) evaluó la producción de MS y semilla, durante los años 1992-1995 en el sur de Italia, con tréboles anuales sembrados puros y sembrados con cebada y raigrás. Encontró que en general las condiciones de riego mejoran el rendimiento de los tréboles sembrados puros en un 67%, los sembrados con raigrás en un 22% y los sembrados con cebada en un 16%. Sostiene además que las gramíneas mantuvieron mayores rendimientos bajo riego como consecuencia de un mayor desarrollo vegetativo.

Lucey y Tesar (1965) trabajando con alfalfa, encontraron que a mayores niveles de agua, mayores eran las producciones, resultados que concordaban con los encontrados por Stanhill, Tesar et al., citados por Lucey y Tesar (1965).

Crespi et al. (2001) analizaron la respuesta de una pastura mezcla (festuca, cebadilla y alfalfa) a diferentes niveles hídricos en pastoreo directo y mecanizado. La eficiencia en uso de agua fue medida como materia seca producida por hectárea sobre metros cúbicos totales en la hectárea, y fue 23%

superior en los tratamientos con riego que sin ellos alcanzando los 2 kg de MS por m⁻³, con riego y corte mecanizado.

En el cuadro No. 2 (Mas, 2007) se observa que la amplitud de respuesta en gramíneas es mayor que en leguminosas, con mayor producción de las tropicales frente a subtropicales incluso en seco.

Cuadro No. 2. Estimación de respuesta al riego (kg/ha de MS) en gramíneas

ESPECIE	RIEGO	SECANO	R/S
<i>Chloris gayana</i> com. Brasil	13580	5100	2,7
<i>Chloris gayana</i> cv. Callide	13630	5160	2,6
<i>Chloris gayana</i> cv. Katambora	15650	4960	3,2
<i>Panicum coloratum</i> cv. Bambatsi	10960	3805	2,9
<i>Panicum máximum</i> cv. Gatton	14420	3280	4,4
<i>Paspalum dilatatum</i> com. Australia	7120	4710	1,5
<i>Paspalum notatum</i> cv. Pensacola	6190	3910	1,6
<i>Setaria anceps</i> cv. Kazungula	12990	5930	2,2

Fuente: adaptado de Mas (2007).

Tanto *Paspalum notatum* como *Paspalum dilatatum* irrigados mostraron incrementos relativos en rendimiento menores, del orden del 50 a 60%. El resto de las especies mostró respuestas superiores al doble, llegando a más de cuatro veces, como el caso de *Panicum máximum*. Según el autor, la variabilidad de la respuesta puede estar debida tanto a la mayor capacidad de crecer en seco por parte de *Setaria anceps*, como a la menor capacidad por

parte de *Panicum máximum*. Sumado, a que ésta última, tiene gran capacidad de responder al riego en condiciones de buena disponibilidad de nitrógeno.

Según Giorello (2012) con niveles intermedios de riego en sorgo forrajero se obtuvieron las mayores eficiencias de uso del agua, para niveles de riego correspondientes a 100% Eto, 66% Eto y 33% Eto se obtuvieron 8,7, 23 y 19,3 kg de materia seca por milímetro de agua aplicado respectivamente. Con *Setaria sphacelata* no se encontraron diferencias significativas en eficiencia del riego. Pero si se encontraron en producción de materia seca, donde 66% Eto y 100% Eto fueron significativamente superiores a secano y a 33% Eto. Para Festuca las eficiencias en uso de agua fueron superiores en el periodo estival que en el total anual, siendo el cultivar Aurora significativamente superior en producción de materia seca (producción estival 2232 kg/ha) y eficiencia de uso de agua (4,86 kg/mm aplicado). Datos que concuerdan con lo planteado anteriormente, a mayor producción de materia seca mayor eficiencia en uso de agua. Los cultivares Tacuabé y Fortuna no difirieron significativamente, produciendo 1817 kg/ha y 1870 kg/ha con eficiencias de 2,67 y 2,8 kg/mm aplicado respectivamente.

Alvim et al. (1986) evaluaron la producción de materia seca bajo riego de 11 gramíneas perennes tropicales y subtropicales, 2 gramíneas anuales templadas y una mezcla entre estas últimas, encontrando que la mayor producción se obtuvo con pasto elefante ($P < 0,05$) alcanzando rendimientos de 32.978 kg/ha/año de MS.

Bergottini et al. (2006) evaluaron la producción de materia seca bajo riego de *Pennisetum purpureum* cv. Napier y *Panicum maximum* cv. Mombaça, y observaron que ambas especies produjeron más con mayores niveles de riego (4.016 kg/ha de MS vs. 3.123 kg/ha de MS), y que Napier produjo más que Mombaça (5.237 kg/ha de MS vs. 1.902 kg/ha de MS), sin encontrar efectos de la interacción especie forrajera x nivel de riego. Según los autores, los diferentes aumentos de producción de materia seca constatados en distintos trabajos, bajo variados niveles de riego pueden estar asociados a determinadas localizaciones geográficas, que definen condiciones de temperatura y luminosidad, a los niveles de fertilización, intervalos entre las determinaciones y alturas de corte.

Matsumoto et al. (2005), vieron que la mayor producción de materia seca de *Panicum maximum* se obtuvo con tratamientos irrigados (38 vs. 29 Mg/ha de MS). Los mismos autores encontraron respuesta positiva al riego en la producción de MS (40% por año), incluso en el periodo de lluvias. De Azevedo et al. (2011) evaluando la producción de *Panicum maximum* cv. Tanzania bajo distintos niveles de riego, encontraron aumentos lineales y positivos en la producción de materia seca al aumentar la lámina de agua.

Respuestas lineales y positivas al riego en producción de MS de *Pennisetum purpureum* fueron encontradas por Mistura et al. (2007), Teixeira et al. (2009), Gonçalves et al. (2010). Mistura et al. (2007), evaluando la producción de MS de pasto elefante registraron producciones máximas de 29 Mg/ha de MS con láminas de 120% de la evapotranspiración. Dos Santos et al. (2003), Ansenko et al. (2003) encontraron el mismo tipo de respuesta para pasto elefante y *Cynodon spp.* Cv. Tifton 85.

Por otro lado Maldonado et al. (1997) observaron una respuesta cuadrática en producción de MS de pasto elefante al aumentar la lámina de agua en el período estival. Atribuyen este tipo de respuesta a que probablemente el exceso de agua provoque situaciones de anaerobiosis y lavado de nutrientes principalmente nitrógeno y potasio.

Ribeiro et al. (2009) evaluaron la producción de materia seca de pasto elefante en épocas seca y lluviosa bajos regímenes de riego y secano. Observaron que la producción en la época seca fue de 6.556 kg/ha de MS para los tratamientos bajo riego, y de 5.332 kg/ha de MS para los tratamientos de secano. En la época lluviosa los resultados obtenidos fueron de 8.459 y 7.335 kg/ha de MS para riego y secano respectivamente. Teixeira et al. (2009) encontraron respuesta lineal y positiva en producción de materia seca acumulada de pasto elefante ($P < 0,10$) al aumentar las láminas de agua aplicadas durante todo el período experimental y también durante el período lluvioso. Las mayores producciones acumuladas fueron de 29.049 kg/ha de MS con una lámina de agua de 120% de evapotranspiración durante todo el periodo experimental, y de 21.128 kg/ha de MS durante el período lluvioso con igual lámina.

Dos Santos et al. (2003) registraron aumentos en la producción de materia seca total de pasto elefante de 34.853 a 46.217 kg/ha/año al aumentar

la lámina de agua. Concluyeron que la irrigación realizada en forma eficiente y criteriosa puede ser una buena alternativa, visualizándose un aumento en la producción animal, debido a que permite aumentos en la producción forrajera, principalmente en verano, cuando las temperaturas no son limitantes para el crecimiento de pasto elefante.

Romero et al. (1975) evaluando la producción de pasto elefante bajo riego no encontraron diferencias significativas en producción. Los autores creen que estos resultados son debidos a que otros factores, además del agua, limitaron el crecimiento de la especie.

Mislevy y Everett (1981) evaluando la producción de materia seca total de *Cynodon spp.*, *Paspalum notatum*, *Digitaria spp.* y *Brachiaria spp.* encontraron, a diferencia del resto de los autores citados, que la mayor producción se alcanzó en los tratamientos de secano. Atribuyen esta respuesta a que los tratamientos de secano acumularon mayor cantidad de nutrientes que capitalizaron en mayor crecimiento una vez que se dieron altas precipitaciones. *Cynodon spp.* y *Brachiaria spp.* alcanzaron las mayores producciones (15 y 15,7 Mg/ha de MS) y *Paspalum notatum* y *Digitaria spp.* obtuvieron menor producción (14,5 y 14,3 Mg/ha de MS).

Mansfield et al. (1990) evaluaron la producción de materia seca de *Paspalum notatum* var. *Saure* cv. Pensacola y encontraron producciones de 5,8 Mg/ha de MS para los tratamientos de secano, y 6,4 Mg/ha de MS para los tratamientos bajo riego. El período evaluado fue de 150 días con agregado de nitrógeno para ambos tratamientos. Los autores afirman que en mezclas de *Paspalum notatum* con *Trifolium pratense* cv. Florida, las producciones en secano alcanzaron los 4,7 Mg/ha de MS y 5,4 Mg/ha de MS bajo riego.

Según Asay et al. (2001), los rendimientos de materia seca de 10 cultivares de festuca difieren significativamente, y respondieron de forma positiva y curvilínea a cinco niveles de riego, correspondientes a tratamientos que variaron de 81 a 538 mm en 1996, de 373 a 886 mm en 1997 y de 350 a 817 mm en 1998. Con niveles altos de riego, se observó una disminución en la producción de MS, que se atribuye a una mayor lixiviación del nitrógeno.

Formoso (2010) evaluó la producción de pasturas de *Festuca arundinacea* de varias edades bajo distintos regímenes de riego y fertilización nitrogenada. Encontró que los incrementos máximos en producción de forraje, superiores al 1000% (correspondiente a 3,5 Mg/ha de MS) ocurrieron en

verano, en una festuca de tercer año con riego entre el 27/12 y el 23/3. Además, en una festuca de quinto año con riego, también entre diciembre y marzo, el agregado de nitrógeno potenció la respuesta (5,3 Mg/ha de MS). El autor, afirma que la magnitud de la respuesta al riego depende del grado de limitación que la falta de agua ejerce sobre el crecimiento, y de que no existan otros factores limitantes.

Martin et al. (2008) comparando *Festuca arundinacea* y *Lolium perenne* encontraron que festuca produce más materia seca y más materia seca por milímetro de agua utilizado. Llegando a producir 19,9 kg/mm de agua utilizado. Simoes et al. (2008) comparando *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* encontraron que festuca tiene mayor eficiencia de uso de agua y aseveran que la medición de biomasa es un posible indicador de eficiencia de uso de agua.

Parry et al. (1992) examinando producción y uso de agua de cinco pasturas perennes (*Bromus sitchensis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne* x *Lolium hybridum*, *Phalaris aquatica*) del 8 de noviembre al 31 de marzo encontraron eficiencias entre 22 y 30 kg MS/ha/mm de ET.

Jensen et al. (2001) evaluaron la respuesta en producción de materia seca de *Bromus biebersteinii*, *Bromus inermis*, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea* bajo distintos niveles de riego. Observaron respuestas cuadráticas para todas las especies, donde *Festuca arundinacea* fue la que más produjo, seguida por *Dactylis glomerata*, *Bromus biebersteinii*, *Bromus inermis* y por último *Lolium perenne*. Para festuca se obtuvieron producciones de 26,9 Mg/ha/año de MS en 1997 y 19,1 Mg/ha/año de MS en 1998. Sostienen que fue la especie más sensible al aumento del nivel de riego expresado como producción de materia seca.

Waldron et al. (2002) evaluando distintas especies bajo distintos niveles de agua, vieron que *Lolium perenne* y *Bromus biebersteinii* mostraron una respuesta lineal y positiva al aumento de los niveles de riego, mientras que *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* mostraron una respuesta cuadrática. Los mayores rendimientos fueron obtenidos con *Festuca arundinacea* (19,6 Mg/ha de MS), seguidos por *Dactylis glomerata*, *Bromus biebersteinii* y por último *Lolium perenne*.

2.3.2. Respuesta al riego en la partición de materia seca

De Azevedo et al. (2011) evaluaron la producción de *Panicum máximum* cv. Tanzania, sosteniendo que las tasas de desarrollo están influenciadas por la disponibilidad de agua, pero además por la radiación solar incidente. Concluyen que el riego debe ser utilizado de forma de favorecer el crecimiento de hojas y no de tallos de manera tal de asegurar forraje de mayor calidad para los animales. En los períodos de lluvia y secas no encontraron modificaciones en la relación hoja/tallo, aunque encontraron mayor producción de hojas y mayor producción de tallo con agua que sin ella.

Brasileiro et al. (2009) evaluando la altura de planta de seis gramíneas encontraron un efecto lineal y positivo del riego, es decir, a mayor lámina de agua mayor altura de plantas. Por otro lado, Gonçalves et al. (2010), con pasto elefante encontraron incrementos de la altura de planta al aumentar los niveles de agua. Esta mayor altura expone los puntos de crecimiento, dejando a las plantas más vulnerables al pastoreo, además de provocar reducciones en la relación lámina/tallo, contribuyendo a la disminución del valor nutritivo de la pastura (Andrade y Gomide, citados por Gonçalves et al., 2010). Por otro lado Gonçalves et al. (2011), encontraron un efecto lineal y positivo sobre la altura de planta y producción de materia seca del nivel de riego, pero no observaron modificaciones en la relación hoja/tallo. A su vez, França et al. (2010) no encontraron diferencias significativas ni en altura de planta ni en densidad de macollas en diferentes niveles de riego.

Por otro lado, Gonçalves et al. (2010), con pasto elefante encontraron un efecto lineal y negativo de las láminas de agua sobre la relación hoja/tallo. El menor valor fue de 1,98 en la mayor lámina de agua. Los autores indican que los menores valores de relación hoja/tallo con los mayores niveles de riego pueden ser atribuidos a una mayor elongación de los tallos en detrimento de la formación de hojas. Lopes et al., citados por Gonçalves et al. (2010), no encontraron efectos de las láminas de agua sobre la relación hoja/tallo, y afirman que probablemente se deba a las malas condiciones de luminosidad y temperatura del experimento. Tampoco Romero et al. (1975) evaluando la producción de materia seca de pasto elefante bajo riego encontraron cambios en la relación hoja/tallo en función del riego aplicado. Observaron que el 83% de la materia seca de la planta era conformado por hojas durante el período seco y durante el período lluvioso sólo el 63%.

Bergottini et al. (2006) midieron la proporción de láminas foliares y tallos de *Pennisetum purpureum* cv. Napier bajo riego, y encontraron valores de 34% de hojas y de 66% de tallos para los tratamientos con riego, y de 36% de hojas y de 74% de tallos para los tratamientos sin riego. Ribeiro et al. (2009) compararon la producción de materia seca de Mombaça y Napier y concluyeron que, la mayor producción de materia seca en las dos épocas evaluadas fue alcanzada por Napier y es debida a la mayor producción de tallos. Las medias en porcentaje de lámina para esta forrajera fueron de 32,7% y 30,8% para la época seca y lluviosa respectivamente.

En gramíneas templadas la relación hoja tallo varía de acuerdo al estado fenológico. Moreira et al., Sexas et al., citados por Gerdes et al. (2005), vieron que la relación lámina/tallo disminuía a medida que se acercaba la fecha de floración para avena negra y raigrás. Los autores afirman que la proporción de láminas foliares va disminuyendo a medida que se acerca la fecha de floración gracias al alargamiento de entrenudos y la consecuente encañazón.

En alfalfa Morales et al. (2006) evaluando diferentes cultivares, vieron que la mayor producción de materia seca se produce con riego, y que la relación hoja/tallo disminuye, a mayor producción de materia seca menor relación hoja/tallo. Las mayores alturas de planta se presentaron ($P > 0,05$) en los meses más calurosos del año, coincidiendo con las mayores producciones de materia seca, y menores relaciones hoja/tallo. Los autores afirman que la mayor producción de materia seca en las estaciones más cálidas del año se debe al aumento en la materia seca de tallos y como consecuencia disminuye la relación hoja/tallo.

Carámbula (2010) afirma que el número y dinámica de macollos depende tanto de factores genéticos como ambientales. Siendo el estrés hídrico uno de los factores que condicionan el número de macollos. Gonçalves et al. (2010) encontró una respuesta lineal y positiva de número de macollos y producción en relación a la lámina de agua aplicada en pasto elefante. Respuestas similares fueron encontradas por Botrel et al. (1991), Vitor et al. (2009), quienes reportan aumentos en número de macollos al aumentar los niveles de riego.

En síntesis las plantas con metabolismo C4 están adaptadas a climas con elevadas temperaturas. El mecanismo de bombeo de dióxido de carbono

evita la pérdida de eficiencia en la fotosíntesis, explicada fundamentalmente por la disminución en fotorrespiración. Actividad metabólica que aumenta junto con incrementos de temperatura en metabolismos C3. Esto explica la mayor producción de MS durante el período estival de las C4 frente a las C3.

Las plantas C4 son más eficientes en el uso del agua que las plantas C3, cuando se las compara en las mismas condiciones y en moderadas deficiencias hídricas. Cuando se analiza la eficiencia en el uso del agua de plantas C3 vs. C4 cada una en su ambiente óptimo, estas diferencias tienden a desaparecer.

En general, las plantas responden al agregado de agua aumentando su producción, la altura de plantas y disminuyendo la relación hoja/tallo. Estos aumentos son variables y dependen fundamentalmente de las especies, las condiciones nutricionales (fundamentalmente nitrógeno), la radiación solar y la temperatura. Con mejores condiciones de radiación y temperaturas elevadas sumadas al agregado de nitrógeno, las plantas C4 responden más al riego que las plantas C3. Cuando el agregado de agua supera el 100% de la ETo, pueden darse condiciones de anaerobiosis y lavado de nutrientes provocando disminuciones en la producción de materia seca.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, en el departamento de Paysandú, Uruguay, a 32°23'20.23" de latitud sur y 58°02'37.98" de longitud oeste.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El sitio experimental se ubicó en una ladera alta sobre un suelo Brunosol Eutrico Típico de la Unidad San Manuel según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (1:1.000.000), desarrollado sobre la formación geológica Fray Bentos (Bossi et al., 1975).

3.3. DURACIÓN DEL PERIODO EXPERIMENTAL

El trabajo se llevó a cabo entre el 08 de diciembre del año 2010 y el 20 de abril del año 2011, correspondiendo a un período de 133 días de evaluación.

3.4. ANTECEDENTES DEL SITIO EXPERIMENTAL

Previo a instalar el experimento existía en el área una pradera de 3 años conformada por una mezcla de *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa*.

3.5. ESPECIES, SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN

Las especies C4 utilizadas fueron *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum* (P.d.), *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. Pensacola (P.n.), *Pennisetum purpureum* cv. Mott (P.p.) y la C3 *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé (F.a.).

El método de siembra utilizado dependió de la especie.

Las parcelas de *Pennisetum purpureum* se plantaron a mano en octubre de 2009, en surcos con 0,7 metros de entresurco y dentro de estos una distancia entre planta de 0,5 metros, resultando una densidad de 2,8 plantas/m². En octubre de 2010 las parcelas se completaron por replantado de mudas.

También en octubre de 2009 se sembraron a chorrillo en la línea con una distancia entre líneas de 0,14 metros *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum*, a una densidad de siembra de 12 kg/ha de semilla comercial. En febrero de 2010 se resembraron las parcelas de P.n. y P.d. Las parcelas de P.d. se completaron por replantado de mudas en noviembre de 2010.

La siembra de *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé se realizó en agosto de 2010, a chorrillo en la línea con una distancia entre líneas de 0,14 metros, a una profundidad de 2 centímetros y a razón de 12 kg/ha de semilla comercial.

Se sembró además *Brachiaria brizantha* a razón de 40 kg/ha el 13 de noviembre de 2010 pero no se estableció de manera tal que pudiera ser evaluada y no fue incluida en el trabajo.

El 15 de agosto de 2009 se realizó una aplicación al voleo pre siembra de 300 kg/ha de la fórmula 0-46-46-0 (NPPK). Luego de cada corte se realizaron fertilizaciones de 50 kg/ha de Nitrógeno en forma de UREA completando los 250 kg/ha de nitrógeno en el total del período.

En cuanto al control de malezas, el 8 de setiembre de 2010 se aplicaron 1,5 l/ha de 2,4 D, luego, el 10 de noviembre se aplicaron 1,5 l/ha de 2,4 D y el 16 de noviembre 350 ml/ha de PRESIDE.

3.6. MÉTODO DE RIEGO

El método de riego utilizado fue el de aspersión fija con tres aspersores por parcela mayor cubriendo el total de la parcela, con las cuatro especies en estudio.

Los aspersores utilizados presentan un caudal de 70 l/h. El riego se realizó semanalmente reponiéndose la cantidad de agua necesaria hasta alcanzar el 100% de ETo en M1 y el 50% de ETo en M2 por la noche para evitar los efectos de deriva que habitualmente se producen por el viento durante el día.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental corresponde a bloques completos al azar con tres repeticiones en parcelas divididas. La parcela mayor corresponde al nivel de riego, y la parcela menor a las especies.

Los tratamientos corresponden a cada combinación de niveles de riego (a tres niveles) y especies forrajeras (4 niveles) lo que da un total de 12 tratamientos (cuadro No. 3).

Cuadro No. 3. Referencias de los distintos tratamientos según sea la combinación entre los factores manejo de agua y especie forrajera

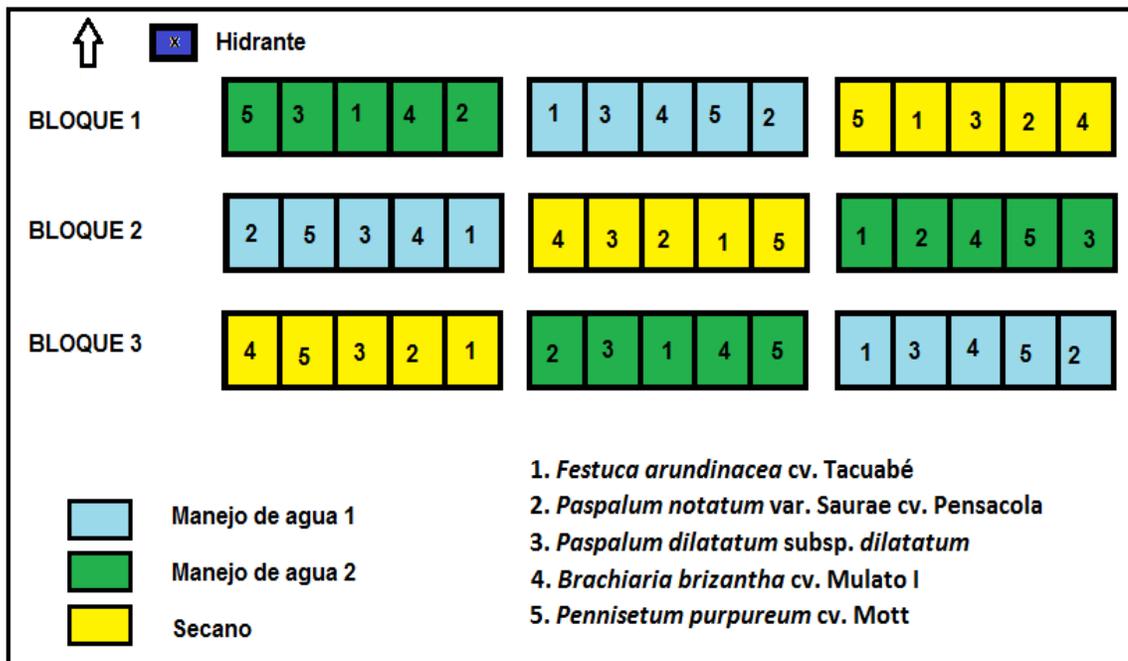
Manejo de agua	<i>F. arundinacea</i>	<i>P. notatum</i>	<i>P. dilatatum</i>	<i>P. purpureum</i>
MANEJO DE AGUA 1	T1	T2	T3	T4
MANEJO DE AGUA 2	T5	T6	T7	T8
MANEJO DE AGUA 3	T9	T10	T11	T12

3.7.1. Distribución de las parcelas

Dentro de cada bloque se aleatorizó la ubicación de las parcelas mayores correspondientes a manejos de agua. Luego se sortearon las especies

forrajeras (parcela menor) dentro de cada manejo de agua, dentro de cada bloque.

Figura No. 1. Croquis del experimento que muestra la disposición de los bloques y los tratamientos



3.7.2. Criterios de riego

El criterio de riego fue cubrir el 100 % de la evapotranspiración del cultivo de referencia en el manejo de agua 1 (M1), el 50 % de la evapotranspiración en el manejo de agua 2 (M2) y un manejo que no recibió riego (M3).

3.7.3. Parcelas

El total de parcelas son 36, correspondientes a cada tratamiento en cada una de las repeticiones. El tamaño de las mismas fue de 10 m² (2mx5m), dando un área total del experimento de 360 m².

3.8. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se midió la altura de planta, la producción de materia seca de las distintas especies, determinando las distintas porciones componentes de la parte aérea, y de las malezas.

3.8.1. Momento de evaluación

Se realizaron un total de 5 evaluaciones, aplicando la misma metodología en todas. Las mediciones correspondientes al período de evaluación fueron realizadas el 03 de enero de 2011, el 31 de enero de 2011, el 28 de febrero de 2011 y el 4 de abril de 2011 variando el período entre cortes entre 27 y 35 días, tomándose ese periodo como suficiente para recomponer el área foliar de la pastura sin acumular material muerto. El 08 de diciembre de 2010 se realizó un corte de homogenización donde se midió la producción de materia seca total y la altura.

3.8.2. Mediciones

3.8.2.1. Altura de planta

La altura de planta se midió al momento de cada corte y a partir del segundo corte se midió semanalmente.

Se midió con regla centimetrada, registrándose la altura de la última hoja verde que hacía contacto con la regla. Se tomaron un total de 10 medidas por parcela en cada medición.

Además fueron tomadas 6 lecturas de altura dentro de los cuadros de corte (3 por cada cuadro). Con las 6 alturas del cuadro se halló la relación de cantidad de materia seca por centímetro de altura.

3.8.2.2. Metodología de cortes

Los cortes se realizaron con tijeras de mano, cortando dos cuadros por parcela que fueron embolsados juntos conformando una única muestra. El tamaño de cuadro y las alturas remanentes fueron ajustados según la especie forrajera. Para las especies *Paspalum notatum* var. Saurae cv. Pensacola, *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum* y *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé se utilizaron cuadros de 0,2 m x 0,5 m y se dejó un remanente de 5 cm. Para la especie *Pennisetum purpureum* cv. Mott se utilizó un cuadro de 1,2 m x 0,5 m y se dejó una altura remanente de 0,4 m. Luego de cada corte las parcelas se emparejaron utilizando una pastera con recolector dejando un remanente de 5 cm para las primeras tres especies. En el caso de Pp. se emparejó la parcela dejando un remanente de 0,4 m con una tijera de corte de cercos retirándose los restos manualmente.

3.8.2.3. Procesado de muestras en el laboratorio

Las muestras en el laboratorio se procesaron luego de cada corte siguiendo la misma metodología en todos. Una vez recolectadas las muestras en el campo, con las muestras debidamente identificadas, primero se pesó la muestra correspondiente a los dos cuadros de corte. Seguidamente se cuartearon las muestras, donde una mitad se pesó y se puso en estufa (llamada sub-muestra entera) y la otra mitad se separó en las distintas fracciones lámina, tallo y malezas. El secado se realizó en estufa de circulación forzada de aire a 60 °C hasta alcanzar peso constante (aproximadamente unas 48 horas de estufa). Con el peso en fresco y el peso en seco de la sub-muestra entera, se calculó la MS en kg/ha presente en la parcela.

Para determinar la diferencia de peso entre las sub-muestras frescas y secas se dividió el peso en seco sobre el peso en fresco y se lo multiplicó por 100 (ya que la diferencia de peso fue el contenido de agua). Una vez obtenido este valor se calculó la MS por ha.

Para determinar los kg/ha de MS de lámina, tallo y malezas se multiplicó la materia seca total por la proporción en que cada fracción contribuía al peso total.

La fracción tallo corresponde a la suma de pseudotallos (conjunto de vainas) y cañas florales.

3.8.2.4. Medición de macollos

Al momento del último corte (4 de abril del 2011) se realizó la determinación de la densidad, peso y partición de la MS de macollos.

Densidad de macollos

Para determinar la densidad de macollas en F.a. se utilizaron dos cuadros de 0,2*0,5 m, al azar dentro de la parcela, y se contó el número de macollos dentro de cada uno. En P.n. y P.d. la metodología fue igual que en F.a. pero se utilizaron dos cuadros de 0,25*0,20 m. El tamaño de los cuadros vario en función de la densidad y tamaño biológico de las estructuras de las plantas.

Dado el mayor tamaño de las plantas de P.p. se utilizaron dos cuadros de 1,20*0,60 m.

Peso de macollos

Para determinar el peso de los macollos en cada parcela fueron cortados 20 macollos aleatoriamente.

En el laboratorio se procesaron las muestras de los 20 macollos, separando las fracciones lámina, vaina, caña y se secaron en estufa. Posteriormente se pesaron obteniendo la materia seca correspondiente a cada fracción.

3.9. HIPÓTESIS

Las hipótesis biológicas del presente trabajo son:

El riego suplementario aumenta la producción de forraje en el período estival.

La respuesta al riego suplementario en las gramíneas de metabolismo fotosintético C4 es mayor que en las gramíneas de metabolismo fotosintético C3.

La respuesta en producción de forraje a los diferentes niveles de riego esperable en la gramínea tropical es mayor que en las gramíneas subtropicales y templadas.

Las hipótesis estadísticas del trabajo son las siguientes:

$$H_01: A_1=A_2=A_3$$

$$H_02: B_1=B_2=B_3=B_4$$

$$H_03: T_1=T_2=T_3=T_4=T_5=T_6=T_7=T_8=T_9=T_{10}=T_{11}=T_{12}$$

H_a1 : Existen diferencias al menos en un manejo de agua (A_i)

H_a2 : Existen diferencias al menos en una especie (B_j)

H_a3 : Existen diferencias al menos en un tratamiento (T_{ij})

3.10. MODELOS ESTADÍSTICOS

La información de las variables medidas se analizó por medio de análisis de la varianza y en caso de encontrarse efectos significativos se realizó la prueba de Tukey (5%) para determinar las diferencias entre media y tratamiento.

El modelo estadístico aplicado en el análisis de los datos es:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + \delta_{ij} + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ = media poblacional

β_k = efecto bloque

A_i = efecto del nivel de riego

δ_{ij} = error parcela mayor

B_j = efecto de la especie

$(AB)_{ij}$ = interacción entre nivel de riego/especie

ε_{ijk} = error parcela menor

$i=1,2,3$ (Niveles de riego)

$j= 1,2,3,4$ (Especies)

$k= 1,2,3$ (Bloques)

Se ajustaron modelos de regresión lineal y cuadrática para analizar la respuesta a los niveles de riego en producción de materia seca y para la relación entre la suma térmica con la altura.

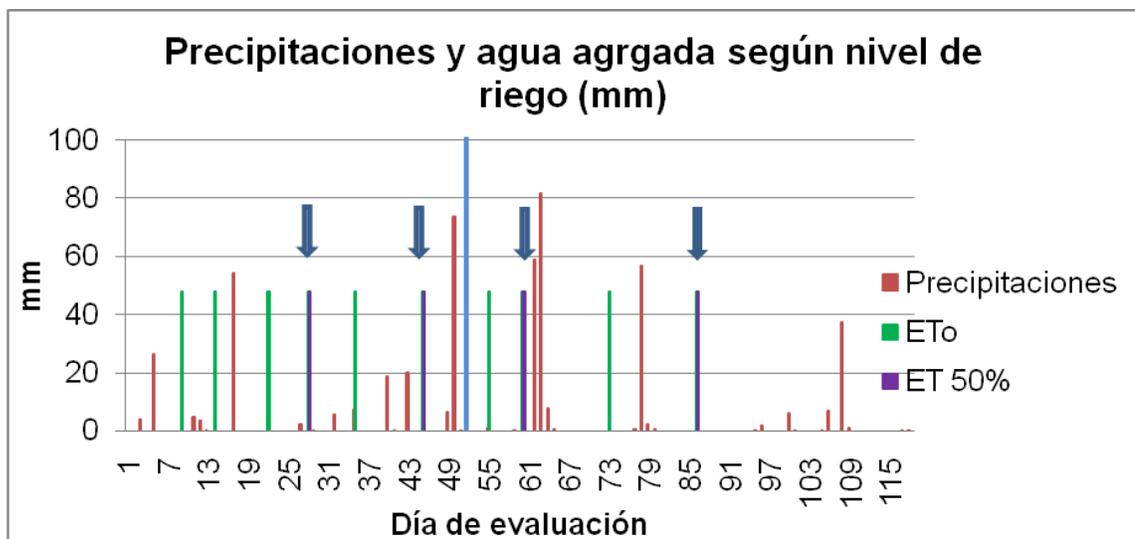
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

4.1.1. Precipitaciones y riegos

La figura No. 2 muestra la distribución de las precipitaciones y los momentos de riego para los distintos manejos de riego. Las flechas indican momentos en que coincidió el riego en M1 y M2.

Figura No. 2. Distribución de las precipitaciones y agua agregada en los distintos manejos de riego

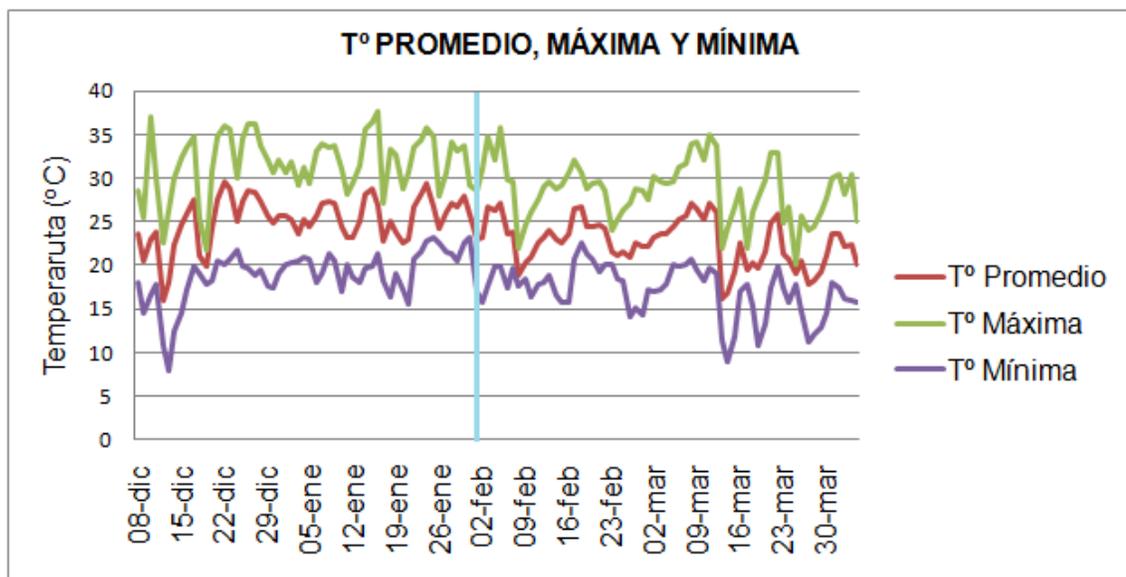


En la figura se observan un período de menor precipitación (seco) y otro de mayor precipitación (lluvioso), delimitados por la línea vertical azul, que corresponden a los dos primeros períodos de evaluación (desde el 8 de diciembre hasta el 31 de enero) y a los dos últimos (desde el 1º de febrero hasta el 4 de abril) respectivamente. En el período seco se registraron 231,2 mm de lluvia y en el lluvioso 266,6 mm, si bien estas diferencias parecen escasas, 73,7 mm de los 231,2 mm del período seco se registraron al final del período, el 26 de enero. Suponemos que estas precipitaciones tendrán más efecto sobre la producción de materia seca del período posterior al corte del 31 de enero.

4.1.2. Temperatura

En la figura No. 3 se observan las temperaturas promedio, mínimas y máximas para el período de evaluación. La línea de división vertical azul muestra la división por períodos hecha a partir de las precipitaciones. Se puede ver como la temperatura es mayor en los meses de diciembre-enero y menor en los meses de febrero-marzo. Esto favorece el crecimiento de las especies tropicales sobre las templadas. En el primer período las temperaturas máximas, medias y mínimas registraron valores promedio de 32 °C, 25 °C y 19 °C mientras que para el segundo periodo los valores promedio para temperaturas máximas, medias y mínimas fueron de 29 °C, 23 °C y 17 °C.

Figura No. 3. Distribución de la temperatura media, máxima y promedio por fecha

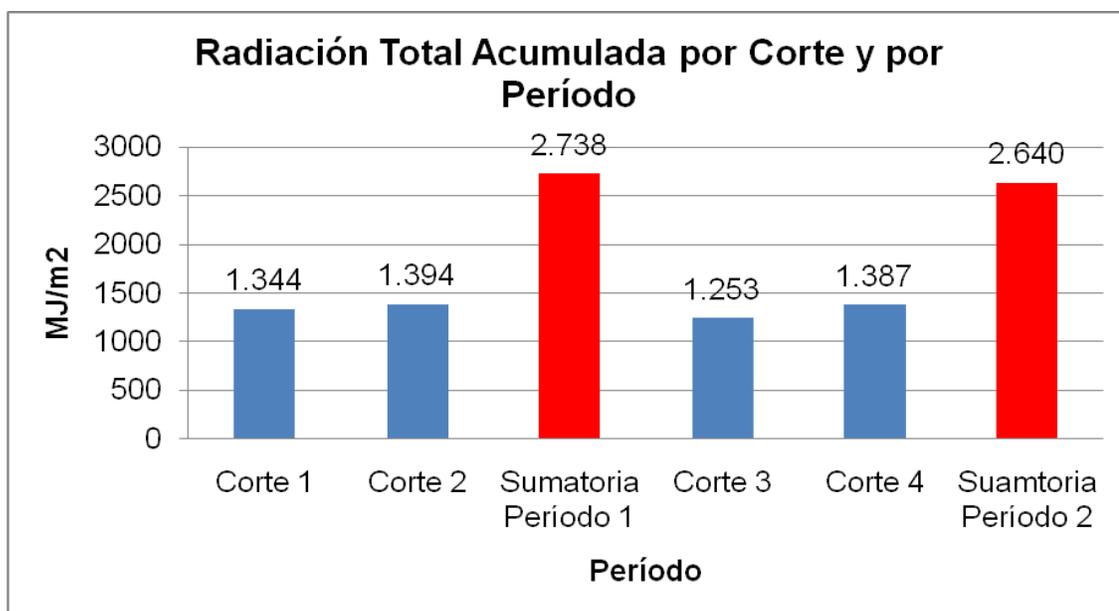


Según Cooper y Taiton (1968), el crecimiento máximo en especies tropicales y subtropicales se da con temperaturas de entre 30 y 35° C, mientras que con temperaturas menores a 10° C casi no se registra crecimiento. Los autores sostienen que para especies templadas las temperaturas óptimas de crecimiento oscilan entre 20 y 25° C, afirman que a pesar de que el crecimiento disminuye con temperaturas por debajo de los 10° C, con temperaturas de 5° C todavía se registran crecimientos.

4.1.3. Radiación solar

En la figura No. 4 se presenta la radiación total acumulada por corte (sumatoria de la radiación entre corte y corte) y la radiación total acumulada por período (sumatoria de los dos primeros cortes para período 1 y de los dos últimos para período 2).

Figura No. 4. Radiación total acumulada por corte y por período



La radiación fotosintéticamente activa o PAR es aquella radiación en longitudes de onda útiles para la fotosíntesis de las plantas. Según McCree (1972) el 48% de la radiación global es PAR. La radiación total acumulada es mayor en el primer período, ya que incluye los períodos de diciembre y enero, momentos en los que se da la máxima radiación incidente. En los meses de febrero y marzo, la radiación total acumulada es menor. Las diferencias sin embargo no parecen tan notorias debido a que el cuarto corte fue el que acumuló más días de crecimiento y por lo tanto acumuló más radiación, aunque la radiación diaria sea menor. La luz provee la energía necesaria para la fotosíntesis, y por lo tanto para el crecimiento de las plantas, pero el efecto de una entrada de energía particular será influenciado por la intensidad y la duración de la misma (Cooper y Taiton, 1968). Los autores sostienen que

muchas de las especies tropicales son más eficientes en el uso de las máximas intensidades de luz que las especies templadas.

4.2. PRODUCCION DE MATERIA SECA

4.2.1. Producción de materia seca total

La producción de materia seca total (MSTOT) corresponde a la suma de la MS producida por la especie evaluada (MS lámina + MS tallo) más la materia seca producida por las malezas. En el cuadro No. 4 se detectó un efecto muy significativo de la especie ($P > 0,0001$), tendencia del efecto de nivel de riego ($P > 0,07$), sin detectarse efecto de la interacción nivel de agua por especie. Bergottini et al. (2006) tampoco encontró efectos significativos en la interacción entre la especie forrajera y el nivel de riego al comparar dos gramíneas tropicales bajo riego.

Cuadro No. 4. Producción promedio de materia seca total según especie

Especie	MS total (kg/ha)
<i>P. purpureum</i>	26344 A
<i>P. dilatatum</i>	9872 B
<i>P. notatum</i>	9110 B
<i>F. arundinacea</i>	5700 C

Se observa la producción promedio de materia seca total de las distintas especies, donde P.p. muestra una superioridad estadísticamente significativa frente al resto de las especies. Los materiales del género Paspalum tuvieron un comportamiento intermedio entre P.p. y F.a., sin diferencias estadísticas entre P.d. y P.n. Atribuimos estas diferencias a las características intrínsecas de las plantas, donde se destaca la gramínea tropical (C4) sobre el resto, y las subtropicales (C4 con comportamiento intermedio) sobre la templada (C3), en la cual es esperable una menor producción estival. Además,

P.p. presenta un porte mayor que las demás gramíneas con mayor área foliar y una mejor distribución vertical de dicha área que permite una mayor tasa fotosintética por unidad de superficie de la pastura lo que determina su mayor producción.

Los resultados de este trabajo concuerdan con lo reportado por Alvim et al. (1986) evaluando la producción de gramíneas tropicales, subtropicales y templadas. En el cual la especie que obtuvo mayor producción de materia seca fue el *Pennisetum purpureum*, superando las 32 Mg/ha/año. Datos nacionales reportados por Bemhaja (2000) muestran producciones promedio de 3 años consecutivos, trabajando con *Pennisetum purpureum* Schum var. INIA Lambaré en Tacuarembó, de hasta 45 toneladas por hectárea en secano con agregado de 100 kg de nitrógeno y 100 kg de fósforo.

Flores Soares (1977) trabajando con dos cultivares de *Paspalum dilatatum* y dos de *Paspalum notatum* encontró que los *Paspalum dilatatum* fueron superiores en producción de materia seca. Y que a dosis creciente de nitrógeno y aumentando el intervalo entre cortes de 3 a 6 semanas se favoreció la producción de todos los cultivares evaluados. Igualmente P.d. evidenció mayor aumento en producción al aumentar el intervalo entre cortes. También indicó que la altura de corte, 5 cm, tendería a subestimar la producción de P.n. Beaty et al., citados por Flores Soares (1977), indicaron que el 56% a 58% del forraje producido por Pensacola se encuentra dentro de los primeros 5,08 cm de la superficie del suelo.

Barreto et al. (1978), estudiando el efecto del estadio de crecimiento y altura de corte en tres ecotipos de *Paspalum dilatatum*, encontraron diferencias significativas en producción de materia seca aumentando en todos los casos durante floración. En el ecotipo “depressao central” también hubo diferencias en producción de materia seca cuando se aumentó la altura de corte de 5 cm a 10 cm. Por lo tanto, la altura de corte en este trabajo pudo ser limitante para la producción de MS en P.d., ya que se cortó a 5 cm.

En el presente trabajo se encontraban ambos *Paspalum* en floración durante el período de evaluación.

La producción de materia seca total contempla la producción de tallos, láminas y malezas, por lo que es necesario analizar por separado las distintas fracciones para comprender mejor las respuestas de las distintas especies.

4.2.2. Producción de materia seca según fracción

La producción de lámina + tallo, mostró efectos muy significativos de las especies ($P > 0,0001$), una tendencia del nivel de riego ($P > 0,08$) y sin efecto de la interacción nivel de riego por especie. La producción de lámina, mostró diferencias muy significativas en cuanto a la especie ($P > 0,0001$), tendencias del nivel de riego ($P > 0,07$), y sin efecto de la interacción nivel de riego por especie. En tallos, no se encontró efecto del nivel de riego, ni de la interacción especie por nivel de riego, si hubo efecto significativo de la especie ($P > 0,025$). Se puede ver en el cuadro No. 5 la superioridad de la especie tropical frente a las subtropicales, y de estas frente a la templada.

Cuadro No. 5. Producción de materia seca promedio según fracción y especie

Especie	MS lámina (kg/ha)	MS tallo (kg/ha)	MS lámina + tallo (kg/ha)
<i>P. purpureum</i>	26344 A	-	26344 A
<i>P. dilatatum</i>	5200 B	4318 A	9518 B
<i>P. notatum</i>	5668 B	3434 B	9102 B
<i>F. arundinacea</i>	1283 C	-	1283 C

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencias significativas al 5%.

En la fracción lámina y lámina más tallo se mantiene la superioridad en producción del Pennisetum. Seguido por las especies del género Paspalum y en último lugar la Festuca.

En cuanto al tallo, la especie con mayor producción es P.d., difiriendo significativamente de P.n. Estos datos toman especial relevancia a la hora de evaluar la respuesta en producción de materia seca de cada especie, lo ideal será encontrar aquellos materiales que produzcan grandes cantidades de materia seca de calidad. Una especie que utilice agua para producir tallo bajará la eficiencia de los sistemas de producción debido a la menor calidad de esta fracción frente a las hojas.

Las especies P.p. y F.a. no registraron crecimiento de tallo. El caso de P.p. es una gramínea tropical de floración tardía, escapando al período de evaluación, y además fue seleccionado específicamente por su característica de entrenudos cortos, por lo tanto no se registran producciones de tallo. La floración en F.a. se da en primavera, por lo cual tampoco se registra producción de tallo. Según Formoso (1995) *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé florece entre fines de julio y fines de agosto.

Para estudiar el efecto del nivel de agua se realizó un análisis con prueba de Tukey al 10%. En el cuadro No. 6 se puede observar que los tratamientos que recibieron el máximo nivel de riego fueron superiores a aquellos de secano, y que los tratamientos con riego intermedio mostraron un comportamiento también intermedio.

Cuadro No. 6. Producción de materia seca de lámina + tallo promedio según nivel de riego

Nivel de riego	MS lámina (kg/ha)	MS lámina + tallo (kg/ha)
M1	11084 A	13274 A
M2	9704 AB	11423 AB
M3	8083 B	9989 B

Estos resultados no hacen más que confirmar que el déficit hídrico limita la producción vegetal en nuestros veranos.

Se puede observar que el máximo nivel de riego fue superior al seco, y el mínimo nivel de riego mostró un comportamiento intermedio. Esto es importante desde el punto de vista de producción animal, ya que la fracción lámina de la planta posee mayor calidad, y diferencias de 3000 kg/ha de MS de lámina entre el mayor nivel de riego y el seco, podrían significar diferencias en desempeño animal de 200 kg/ha de peso vivo (Almeida, 1997). Parecería lógico buscar aquellas especies que produzcan la mayor cantidad de materia seca de calidad. Bergottini et al. (2006) aseguran que la digestibilidad de Mombaça fue superior a la de Napier, debido fundamentalmente a la mayor proporción de hojas.

Matsumoto et al. (2005), De Azevedo et al. (2011) evaluando la producción de MS de *Panicum maximum* observaron mayores producciones al aumentar la oferta de agua. Lopes y Fonseca (2009) encontraron para *Pennisetum purpureum* una respuesta creciente en producción de materia seca al aumento de la lámina de agua, donde las mayores producciones se registraron con una lámina de 120% de evapotranspiración alcanzando producciones de 29.049 kg/ha MS. Según Formoso (2010), Festucas irrigadas aumentaron su producción desde 1.000 kg/ha MS (seco) a 3.000 kg/ha MS con riego.

4.2.3. Producción de materia seca malezas

Al momento de estudiar la producción de materia seca de malezas que invadieron las parcelas del experimento se encontraron efectos significativos de la especie ($P > 0,0001$), así como en la interacción nivel de riego por especie ($P > 0,006$). El efecto nivel de riego presentó tendencia ($P > 0,06$). En el cuadro No. 7 se observa la producción de materia seca de malezas según especie y nivel de riego.

Cuadro No. 7. Producción de materia seca (kg/ha) de malezas según especie y nivel de riego

Especie	M1	M2	M3
<i>P. purpureum</i>	0 C	0 C	0 C
<i>P. notatum</i>	0 C	0 C	23 C
<i>P. dilatatum</i>	549 BC	423 BC	90 C
<i>F. arundinacea</i>	5418 A	5455 A	2376 B

F.a. es la especie que presentó mayor invasión de malezas con riego (independientemente del nivel), mostrando diferencias significativas con el tratamiento de seco y con el resto de las especies. Este mayor enmalezamiento se lo atribuye principalmente a dos factores, F.a. es una especie templada de baja producción estival, y por tanto, baja capacidad de competencia con malezas en dicha estación. Las maleza más importantes fueron, *Cynodon dactylon*, *Eragrostis lugens*, *Setaria geniculata* y *Sporobolus indicus*, todas gramíneas C4. Por otro lado la fecha de siembra en agosto, determino que al inicio del período de evaluación las plantas presentarían un pobre desarrollo, dejando espacios libres en las parcelas, aprovechados por las malezas estivales. Por otro lado, los tratamientos bajo riego se vieron más enmalezados que secos, atribuible esto a mejores condiciones para el crecimiento de malezas estivales (espacio, buenas condiciones hídricas y fertilización nitrogenada).

El enmalezamiento en los tratamientos con riego de P.d. no difieren significativamente con F.a. en seco. Por su parte P.n. no presentó enmalezamientos debido a su hábito de crecimiento rizomatoso, con capacidad de colonizar totalmente la superficie del suelo e impidiendo el ingreso de malezas.

Estos resultados dan lugar a conclusiones tales como: debemos regar especies que cierren rápido y totalmente la superficie del suelo, y debemos regar especies que produzcan en verano capaces de competir contra malezas por otros recursos como luz y nutrientes. De no ser así, estaríamos invirtiendo

en un recurso (agua) para que sea aprovechado por especies no deseadas, disminuyendo la eficiencia del sistema.

Formoso (2010), en experimentos realizados con riego de *Festuca arundinacea*, encontró que el 16 % de los tratamientos bajo riego produjeron menos forraje que los tratamientos en secano durante las estaciones posteriores a la irrigación, debido principalmente a una mayor infestación de malezas gramíneas estivales que comprometerían la persistencia de la pastura.

Lowe y Bowdler (1984), evaluando distintas especies, encontraron que, aunque la F.a. fue la gramínea templada que mayor rendimiento alcanzó, su persistencia se vio comprometida por competencia con malezas, con leguminosas, enfermedades y deficiencias de fertilidad.

4.2.4. Proporción en la materia seca total de las fracciones materia seca lámina + tallo (%), lámina, tallo y malezas

En la proporción de lámina más tallo, se observaron efectos muy significativos de la especie ($P > 0,0001$) y una tendencia en el efecto de la interacción especie por nivel de riego ($P > 0,075$). La proporción de materia seca de lámina y de tallo mostraron efectos muy significativos solamente a nivel de especie ($P > 0,0001$) y ($P > 0,007$) respectivamente.

En el cuadro No. 8 se observa que las mayores proporciones de lámina más tallo se encontraron en P.p., P.n. y P.d. Por su parte F.a. mostró los valores más bajos.

Cuadro No. 8. Proporción de materia seca de lámina + tallo, lámina, tallo y malezas según especie (%)

Especie	MS lámina (%)	MS tallo (%)	MS lámina + tallo (%)	MS Malezas (%)
<i>P. purpureum</i>	100 A	-	100 A	0 B
<i>P. notatum</i>	62 B	38 B	99 A	3 B
<i>P. dilatatum</i>	53 C	44 A	97 A	3 B
<i>F. arundinacea</i>	19 D	-	19 B	81 A

En cuanto a la proporción de materia seca de lámina se ven claras diferencias en los distintos materiales, donde P.p. es superior, seguido por P.n., P.d., y por último F.a. Cabe destacar que P.p. no presentó producción de tallos dentro del período evaluado, además de no haber registrado crecimiento de malezas. En F.a., si bien tampoco se registraron crecimientos de tallos, presentó altísimo crecimiento de malezas debido a la escasa población y capacidad de competencia contra malezas estivales.

En cuanto a la proporción de tallos la especie P.d. es superior a P.n. Dentro de las especies evaluadas las únicas que presentaron crecimiento de tallo durante el período experimental fueron las del género Paspalum. Las otras especies encañan fuera del período evaluado.

En la proporción de malezas se encontró un efecto muy significativo de especie ($P > 0,0001$) y una tendencia en el efecto de la interacción nivel de riego por especie ($P > 0,075$).

Se visualiza en el cuadro No. 8 el enmalezamiento de F.a. sobre el resto de las especies. Estas diferencias son atribuidas al bajo crecimiento de ésta debido a las altas temperaturas del período de evaluación, que la hacen una especie muy poco competitiva frente a gramíneas estivales y otras malezas. Se suma a esto una muy baja población obtenida que evita el cierre de hileras, dejando espacio libre para el crecimiento de especies no deseadas.

El resto de las especies mostró un buen comportamiento gracias al buen cierre de líneas debido a las buenas poblaciones logradas, y a los crecimientos obtenidos que ejercen mayor poder de competencia. Estos resultados tienen implicancias a la hora de decidir las especies a regar, ya que aquellas predisponentes a enmalezamientos estivales bajarán la eficiencia de los sistemas de riego.

4.2.5. Producción de materia seca total en período seco y período lluvioso

Al analizar la producción de materia seca total por período se registraron tendencias del efecto del nivel de riego ($P > 0,064$), efecto muy significativo de la especie ($P > 0,0001$) y de la interacción nivel de riego por período ($P > 0,0004$), y efecto de la interacción especie por período ($P > 0,02$).

El cuadro No. 9 muestra que la mayor producción se dio con P.p., seguido por P.n. y P.d. y finalmente F.a. Estos datos coinciden con el resto de los análisis donde el P.p. registra mayor producción, seguido por las especies del género Paspalum, y por último la F.a.

Cuadro No. 9. Producción de materia seca total (kg/ha) promedio entre período seco y lluvioso según especie

Especie	MS total (kg/ha)
<i>P. purpureum</i>	13172 A
<i>P. dilatatum</i>	4936 B
<i>P. notatum</i>	4555 B
<i>F. arundinacea</i>	2673 C

En el cuadro No. 10 podemos ver un efecto significativo de los niveles de riego durante el período seco, mientras que en el período lluvioso los rendimientos no difieren. Si bien las diferencias no son significativas, la mayor producción se alcanza con el máximo nivel de riego en el período seco. La

menor producción se alcanzó en secano en el período seco. El tratamiento que recibió menor riego en el período seco mostró un comportamiento intermedio.

Cuadro No. 10: Producción promedio entre especies de materia seca total (kg/ha) según período y nivel de riego

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	7778 A	6723 A
M2	6386 AB	6506 A
M3	4524 B	6088 A

En el cuadro No. 11 se ve que P.p. es la especie que más produce en ambos períodos; P.d. y P.n. producen rendimientos intermedios siendo mayores en el período seco probablemente por mejores condiciones de temperatura y radicación. *Festuca arundinacea*. es la especie que menos produce, aunque es mayor en el período lluvioso, la temperatura baja en este período, y por lo tanto, mejoran las condiciones de crecimiento para esta especie.

Cuadro No. 11. Producción de materia seca total (kg/ha) promedio de los manejos de agua por especie según período.

Especie	SECO	LLUVIOSO
<i>P. purpureum</i>	12478 A	13866 A
<i>P. notatum</i>	4748 BC	4362 BCD
<i>P. dialatum</i>	5258 B	4615 BC
<i>F. arundinacea</i>	2432 D	2914 CD

Los resultados no muestran diferencias significativas entre períodos, si bien era esperable obtener mayores rendimientos en el periodo seco dada las mayores temperaturas y radiación registradas en este, según Hill et al. (1989) las mayores producciones de especies tropicales se daban en los meses más cálidos, donde la temperatura y la radiación fomentaban el crecimiento.

Los rendimientos de *Festuca* aumentan en el periodo lluvioso a diferencia de lo reportado por Jensen y Blair (2001), que encontraron menores producciones de materia seca de *Festuca arundinacea* con los mayores niveles de riego, y explicaron que probablemente esto se debía a una mayor lixiviación de nitrógeno.

4.2.6. Producción de materia seca de lámina + tallo en período seco y período lluvioso

Se encontró una tendencia del efecto nivel de riego ($P > 0,08$) y efecto muy significativo de la especie ($P > 0,0001$). Se observaron además efectos muy significativos de la interacción nivel de riego por período ($P > 0,0005$) y efecto en la interacción especie por período ($P > 0,012$).

Se observa en el cuadro No. 12 la superioridad de P.p., seguido por las especies del género *Paspalum* y F.a. con menor rendimiento.

Cuadro No. 12. Producción promedio de materia seca lámina + tallo (kg/ha) según especie

Especie	MS lámina + tallo (kg/ha)
<i>P. purpureum</i>	13172 A
<i>P. dilatatum</i>	4759 B
<i>P. notatum</i>	4551 B
<i>F. arundinacea</i>	632 C

En el cuadro No. 13 se observa que el mayor nivel de agua en el período seco junto con el secano en el período lluvioso, producen más que el tratamiento de secano en el período seco. El resto de los tratamientos mostró un comportamiento intermedio.

Cuadro No. 13. Producción de materia seca de lámina + tallo (kg/ha promedio por nivel de riego según período

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	7196 A	6063 AB
M2	5638 AB	5784 AB
M3	4404 B	5586 AB

Analizando solamente el secano, se visualiza una mayor producción durante el período de lluvias, debido probablemente a mejores condiciones hídricas del suelo y a la consecuente captación de nutrientes mineralizados durante el período seco.

En el cuadro No. 14 se visualiza la superioridad de P.p. sobre el resto de las especies, seguido por P.n. y P.d., y por último F.a. Es decir, independientemente del período evaluado, el orden de las especies se mantiene. Lo que tiende a cambiar es el ranking por período.

Cuadro No. 14. Producción de materia seca de lámina + tallo (kg/ha) según especie y período

Especie	SECO	LLUVIOSO
<i>P. purpureum</i>	12478 A	13866 A
<i>P. notatum</i>	4741 B	4362 B
<i>P. dialtatum</i>	5074 B	4444 B
<i>F. arundinacea</i>	691 C	573 C

4.2.7. Producción de materia seca lámina en período seco y período lluvioso

La producción de materia seca lámina mostró una tendencia del efecto del nivel de riego ($P>0,08$) y efecto muy significativo de la especie ($P>0,0001$). Se encontraron además efectos de la interacción nivel de riego por período ($P>0,05$) y efecto muy significativo de la interacción especie por período ($P>0,0008$).

Cuadro No. 15. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según nivel de agua

Nivel de riego	MS lámina(kg/ha)
M1	5535 A
M2	4852 A
M3	44042 A

Si bien las diferencias entre medias no son significativas, hay tendencia al 8%. Agronómicamente, estas diferencias pueden considerarse importantes en un sistema de producción animal, ya que la variable en estudio es la porción de

mayor digestibilidad en planta, lo que puede determinar diferencias importantes en producción animal.

El cuadro No. 16 muestra que la mayor producción de lámina se logra con P.p., seguido por P.n. y P.d., y por último F.a. Si comparamos estos valores con los encontrados en el cuadro No. 12, vemos que de la producción total de las especies de género Paspalum, aproximadamente la mitad pertenece a la porción lámina, mientras que la otra mitad pertenece a la porción tallo.

Cuadro No. 16. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según especie

Especie	MS lámina (kg/ha)
<i>P. purpureum</i>	13172 A
<i>P. notatum</i>	2834 B
<i>P. dilatatum</i>	2600 B
<i>F. arundinacea</i>	632 C

Se observa en el cuadro No. 17 que los rendimientos obtenidos para el tratamiento de máximo nivel de riego son superiores al tratamiento M3 en el periodo seco. Los rendimientos del tratamiento M2 fueron intermedios a estos y similares a los rendimientos logrados en todos los tratamientos de riego, en el período lluvioso.

Cuadro No. 17. Producción promedio de materia seca lámina (kg/ha) según interacción período y nivel de riego

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	5816 A	5253 AB
M2	4930 AB	4774 AB
M3	3747 B	4336 AB

Los resultados muestran diferencias en el rendimiento entre los tratamientos secano M3 y 100% ETo en el periodo seco. Las producciones de materia seca de lámina en el tratamiento M2 periodo seco y los tres manejos de agua del periodo lluvioso son similares e intermedias a los rendimientos de M1 y M3 del periodo seco.

Los resultados obtenidos con P.p. no concuerdan con los de Ribeiro et al. (2009) que evaluando la producción de MS de pasto elefante, encontraron que ésta era mayor con los mayores niveles de riego en la época lluviosa, correspondiendo ésta a los meses de verano. Por otro lado Maldonado et al. (1997), evaluando la producción de materia seca de P.p., encontraron que con los mayores niveles de riego las producciones de materia seca fueron menores. Indicaron que este comportamiento pudo deberse a un exceso de humedad del suelo, condiciones de anaerobiosis y lixiviado de nutrientes tales como nitrógeno y potasio.

El cuadro No. 18 muestra nuevamente que P.p. es superior independientemente del período evaluado, aunque produce más en el período lluvioso.

Cuadro No. 18. Producción promedio por especie de materia seca lámina (kg/ha) según período

Especie	SECO	LLUVIOSO
<i>P. purpureum</i>	12478 B	13866 A
<i>P. notatum</i>	3121 C	2547 CD
<i>P. dialtatum</i>	3034 C	2166 CDE
<i>F. arundinacea</i>	691 DE	573 E

Es probable que la menor cantidad de lluvias haya favorecido la mineralización de nutrientes tales como nitrógeno, que son capitalizados en mayor crecimiento en los períodos lluviosos. P.n. y P.d. en el período seco fueron los tratamientos que siguieron a P.p., sin diferencias con las mismas especies en el período lluvioso. La F.a. en ambos períodos junto con P.d. en el período lluvioso fueron las especies que menor producción alcanzaron. Estos resultados pueden estar reflejando la mayor competencia de malezas, en su mayoría gramíneas estivales, que deprimen la producción de P.d. y F.a.

4.2.8. Producción de materia seca tallo en período seco y período lluvioso

Fueron detectados efecto muy significativo de especie ($P > 0,008$) y de la interacción nivel de riego por período ($P > 0,0004$), y tendencia en el efecto de la triple interacción nivel de riego por especie por período ($P > 0,06$).

En el cuadro No. 19 es posible visualizar la mayor producción de tallos logrados por la especie P.d., seguida por P.n. A su vez P.p. y F.a. no mostraron producción de tallos en el período de evaluación. La mayor producción de tallo de P.d. probablemente se deba a que este comienza a producir tallo antes que P.n. debido a su floración más temprana.

Cuadro No. 19. Producción de materia seca tallo (kg/ha) en promedio según especie

Especie	Materia Seca Tallo (kg/ha)
<i>P. dilatatum</i>	2159 A
<i>P. notatum</i>	1717 B
<i>P. purpureum</i>	-
<i>F. arundinacea</i>	-

Podemos observar en el cuadro No. 20 que la mayor producción de tallos se corresponde con el tratamiento M1 en el período seco y disminuye en este tratamiento durante período lluvioso; mientras que la menor producción de tallos se logra en los tratamientos de M2 y M3 en el período seco y aumentan en el período lluvioso.

Cuadro No. 20. Producción de materia seca de tallo (kg/ha) en promedio por nivel de riego según período

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	2760 A	1620 BC
M2	1416 BC	2020 ABC
M3	1313 C	2500 AB

La producción de tallo se deprimió para el 100% ETo en el periodo lluvioso, lo cual podría deberse a excesos de agua que redujeran la disponibilidad de nutrientes o crearan condiciones de anoxia para las raíces. La producción de tallos se favoreció en el período lluvioso cuando se antecedían niveles menores de agua en el suelo dados por los manejos secanos y 50% ETo.

4.2.9. Producción de materia seca malezas en período seco y período lluvioso

La producción de materia seca de malezas mostró efecto muy significativo solamente a nivel de especie ($P > 0,0001$).

Las especies P.d., P.n. y P.p. mostraron enmalezamientos muy reducidos sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas. La producción de materia seca de malezas en F.a. para los dos períodos evaluados no pudo ser analizada debido a un gran desbalance entre los datos, con registros que van desde parcelas perdidas a grandes producciones de malezas.

Cuadro No. 21. Producción de materia seca de malezas (kg/ha) promedio por especie

Especie	Materia Seca Malezas (kg/ha)
<i>P. dilatatum</i>	177 A
<i>P. notatum</i>	4 A
<i>P. purpureum</i>	0 A
<i>F. arundinacea</i>	-

Si bien los datos de producción de MS de malezas no entraron en el análisis, la producción media de MS malezas en las parcelas de F.a. fue de 4417 kg/ha que surge de la diferencia entre la producción total (cuadro No. 4) y la producción de tallo + lámina (cuadro No. 5).

4.3. TASAS DE CRECIMIENTO

4.3.1. Tasa de crecimiento de materia seca total en período seco y período lluvioso

Se encontró efecto significativo del nivel de riego ($P>0,05$), efecto muy significativo de la especie ($P>0,0001$), del período ($P>0,0002$) y de la interacción nivel de riego x período ($P>0,0001$).

En el cuadro No. 22 la mayor tasa de crecimiento la presenta P.p., seguido por P.d. y P.n., y por último F.a.

Cuadro No. 22. Tasa de crecimiento diario (TC) promedio según especie, en kg/ha/d de MS

Especie	TC Materia Seca Total (kg/ha/d)
<i>P. purpureum</i>	230 A
<i>P. dilatatum</i>	87 B
<i>P. notatum</i>	80 B
<i>F. arundinacea</i>	46 C

Datos publicados por Parry et al. (1992) trabajando en Nueva Zelanda con cinco especies templadas perennes bajo riego muestran tasas de crecimiento de 57-79 kg/ha/d MS. Las cuales serían inferiores a las observadas en este trabajo para gramíneas perennes tropicales y subtropicales (cuadro No. 22).

Podemos observar en el cuadro No. 23 que las mayores tasas de crecimiento se dan en M1 del período seco sin diferir estadísticamente de M2 del mismo período.

Cuadro No. 23. Tasa de crecimiento promedio (kg/ha/d de MS) según nivel de riego y período

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	150 A	107 BC
M2	123 AB	103 BC
M3	97 BC	87 C

Las tasas obtenidas en el período lluvioso no difieren entre sí, ni de secano en período seco. Las mayores TC de los tratamientos regados en el período seco pueden explicarse en parte a las mejores condiciones de radiación y temperatura propias de los meses de enero y febrero.

Alvim et al. (1986) sostienen que las mayores producciones de pasturas tropicales y sub-tropicales en los meses de verano se dan gracias a las mejores condiciones de crecimiento determinadas por mayor temperatura y luminosidad.

4.3.2. Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo en período seco y período lluvioso

Se observó una tendencia en el efecto del nivel de riego ($P > 0,06$), y un efecto muy significativo para la especie ($P > 0,0001$), para el período ($P > 0,0001$) y para la interacción nivel de riego por período ($P > 0,0001$).

Cuadro No. 24. Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según especie

Especie	TC Materia Seca Lámina + Tallo (kg/ha/d)
<i>P. purpureum</i>	230 A
<i>P. dilatatum</i>	84 B
<i>P. notatum</i>	80 B
<i>F. arundinacea</i>	11 C

Continúa en esta variable, como en la anterior, que P.p. presenta mayor tasa de crecimiento, seguido por P.d. y P.n., y por último F.a. Si comparamos estos datos con los obtenidos en el cuadro No. 22, vemos que la tasa de crecimiento de F.a. cae. Estas diferencias se deben a que en el cuadro No. 22 está contemplada la tasa de crecimiento de malezas. Concluimos que en realidad fueron más exitosas las malezas que la F.a.

El cuadro No. 25 muestra que las mayores tasas de crecimiento se obtienen en los tratamientos de máximos niveles de riego en el período seco. Las mejores condiciones de luminosidad y temperatura, acompañadas por una buena disponibilidad hídrica, deberían ser las variables responsables de estos resultados.

Cuadro No. 25. Tasa de crecimiento de materia seca lámina + tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	138 A	96 B
M2	108 B	98 B
M3	85 B	89 B
Media	111 A	94 B

Se observa en el cuadro No. 25, como independientemente del nivel de riego, las mayores tasas de producción se obtienen en el período seco, gracias fundamentalmente a las ya mencionadas mejores condiciones de temperatura y radiación solar, sin sufrir el lavado de nutrientes que pudo suceder en el periodo lluvioso.

4.3.3. Tasa de crecimiento de materia seca lámina en período seco y período lluvioso

Se encontraron tendencias en el efecto del nivel de riego ($P > 0,07$), efectos muy significativos de la especie ($P > 0,0001$) y del período ($P > 0,0001$), efecto de la interacción nivel de riego por período ($P > 0,01$) y tendencias en el efecto de la triple interacción nivel de riego por especie por período ($P > 0,08$).

Se puede observar en el cuadro No. 26 la superioridad de P.p. frente al resto de las especies. El género Paspalum mostró comportamiento intermedio, y F.a. fue la especie que presentó menor tasa de crecimiento.

Cuadro No. 26. Tasa de crecimiento de materia seca lámina (kg/ha/d de MS) en promedio según especie

Especie	TC MS Lámina (kg/ha/d)
<i>P. purpureum</i>	230 A
<i>P. notatum</i>	50 B
<i>P. dilatatum</i>	46 B
<i>F. arundinacea</i>	11 C

Las diferencias son de cerca de 180 kg/ha/d de MS entre P.p. y el género Paspalum. Es necesario remarcar estos resultados, ya que estamos en este caso evaluado únicamente la tasa de crecimiento de hoja. Ya hemos mencionado que la hoja es la porción que más impacto tiene sobre el resultado físico del sistema de producción, por lo tanto, en la medida que se produce más lámina y más rápido, mejores serán los resultados.

En el cuadro No. 27, se aprecia que la mayor tasa de crecimiento se obtiene con el tratamiento M1 en período seco que supera al resto sin diferenciarse estadísticamente de M2 en similar período.

Cuadro No. 27. Tasa de crecimiento de materia seca de lámina (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	112 A	83 BC
M2	95 AB	76 C
M3	72 BC	69 BC

Por otro lado, los tratamientos M1 y M2 reducen sus tasas de crecimiento en el período lluvioso. Esto puede deberse a las mejores condiciones de temperatura y luminosidad además de un menor lavado de nitrógeno por las menores lluvias durante el primer período.

M3 se comportó igual en ambos períodos sin los incrementos esperables por las mejoras en las condiciones hídricas del período lluvioso. Esa falta de respuesta puede ser consecuencia de las peores condiciones de las pasturas determinadas por el estrés hídrico.

4.3.4. Tasa de crecimiento de materia seca tallo en período seco y período lluvioso

Se encontraron efectos a nivel de especie ($P > 0,01$), efectos muy significativos de la interacción nivel de riego por período ($P > 0,0003$), y una tendencia en el efecto de la triple interacción nivel de riego por especie por período ($P > 0,06$).

P.d. presenta mayor tasa de crecimiento de tallo que P.n. Para el resto de las especies no se registraron medidas de tallos, ya que la floración escapa al período de corte.

Cuadro No. 28. Tasa de crecimiento de materia seca tallo (kg/ha/d de MS) en promedio por especie

Especie	TC Materia Seca Tallo (kg/ha/d)
<i>P. dilatatum</i>	38 A
<i>P. notatum</i>	30 B
<i>P. purpureum</i>	-
<i>F. arundinacea</i>	-

La tasa de crecimiento de materia seca de tallo es superior en el período seco con M1 (cuadro No. 29), sin diferenciarse de la tasa de M3 en el período lluvioso, el cual mostró un comportamiento intermedio. Y el resto de los tratamientos fueron inferiores al M1 en el período seco.

Cuadro No. 29. Tasa de crecimiento de materia seca de tallo (kg/ha/d de MS) en promedio según período y nivel de riego

Nivel de riego	SECO	LLUVIOSO
M1	53 A	26 B
M2	27 B	32 B
M3	25 B	40 AB

4.3.5. Tasa de crecimiento de materia seca de malezas en período seco y período lluvioso

La tasa de crecimiento de materia seca malezas mostró efecto muy significativo de la especie ($P > 0,0001$), efecto del período ($P > 0,03$), y un efecto muy significativo de la interacción especie por período ($P > 0,0003$).

Cuadro No. 30. Tasa de crecimiento de materia seca (kg/ha/d de MS) de malezas en promedio según especie y período

Especie	SECO	LLUVIOSO
<i>P. purpureum</i>	0,0 B	0,0 B
<i>P. notatum</i>	0,0 B	0,2 B
<i>P. dilatatum</i>	3,5 B	2,7 B
<i>F. arundinacea</i>	-	37,2 A

Todas las especies en los dos períodos evaluados presentaron enmalezamientos menores que F.a en el período lluvioso. En el período seco no se estimó la producción de esta especie debido al gran desbalance entre los datos.

4.4. MACOLLOS

4.4.1. Número de macollos por metro cuadrado

El número de macollos/ m² tuvo efecto significativo del nivel de riego (P>0,04), efecto muy significativo de la especie (P>0,0001), y un efecto de la interacción nivel de riego por especie (P>0,035).

Cuadro No. 31. Densidad de macollos (macollos/ m²) según especie y nivel de riego

Especie	M1	M2	M3
<i>P. purpureum</i>	233 C	232 C	173 C
<i>P. notatum</i>	2760 A	2813 A	2253 A
<i>P. dilatatum</i>	2720 A	2813 A	2613 A
<i>F. arundinacea</i>	1473 B	1166 B	380 C

Se observa que el mayor No. de macollos/m² lo registraron las especies del género Paspalum, sin diferencias entre ellos. La F.a. mostró un comportamiento intermedio para los tratamientos de riego, mientras que el tratamiento de secano presentó el menor n° de macollos por m², sin diferencias con P.p. La densidad de macollos/m² encontrada para F.a. muestra diferencias con la encontrada por Machado et al. (2002) quienes registraron valores de entre 2100 y 2500 macollos/m². Esta baja densidad es atribuible a la fecha de siembra (agosto), que impide el correcto macollaje, además de someter a las plantas con bajo desarrollo radicular a probables deficiencias hídricas de octubre y noviembre que comprometerían la sobrevivencia de los macollos. Según De Souza y Presno (2013) el número de macollos por metro cuadrado en *Festuca arundinacea* varió entre 2942 a 3952. Y valores aún mayores fueron reportados por Faber (2012), quien encontró variaciones entre 3547 hasta 8084 macollos por metro cuadrado. Estos datos encontrados en la bibliografía no hacen más que confirmar la pobre implantación de F.a. en este trabajo. Posiblemente en una situación de buena implantación los datos de producción tanto de macollos como de MS total deberían haber sido mayores.

Cabe destacar que existe una variabilidad muy alta en la densidad de macollos, esto hace que la prueba de medias sea poco sensible, encontrando diferencias únicamente cuando estas son muy grandes. Es por esto que no se registra diferencias entre la densidad de macollos de los tratamientos de secano contra los de riego en las especies del género Paspalum, aun cuando estas son de cerca de 600 macollos/m². Hirata y Pakiding (2001) estudiando la dinámica de macollos en *Paspalum notatum* también encontraron poblaciones muy variables, reportando valores de entre 3819 a 4875 macollos por metro

cuadrado. Hunt (1979) estudiando los efectos de pisoteo y la altura de defoliación en *Paspalum dilatatum*, observó variaciones de entre 2795 a 3309 macollos por metro cuadrado con cortes a 5 cm durante el período estival. Datos similares a los observados en el cuadro anterior.

Almeida (1997) estudiando el cultivar Mott encontró valores muy similares a los aquí reportados, poblaciones de entre 196 a 273 macollos por metro cuadrado variando los mismos según oferta de forraje. Gonçalves et al. (2010), registraron que el número de macollos aumenta, conforme aumenta la lámina de agua aplicada. Sostienen además, que las mayores productividades se obtienen con el mayor No. de macollos, logrado con la mayor cantidad de agua aplicada. Botrel et al. (1991), Vitor et al. (2009) también observaron que el número de macollos aumenta al aumentar la lámina de agua.

4.4.2. Peso de los macollos

El peso de los macollos mostró efecto muy significativo únicamente de la especie ($P > 0,0001$). No se encontró efecto del nivel de agua ni de la interacción nivel de agua por especie.

Cuadro No. 32. Peso de 20 macollos en promedio (g) según especie

Especie	Peso de 20 macollos (g)
<i>P. purpureum</i>	5,25 A
<i>P. dilatatum</i>	0,35 B
<i>P. notatum</i>	0,32 B
<i>F. arundinacea</i>	0,21 B

Fue significativa la diferencia en peso de los macollos solo para la especie P.p., el resto de las especies no mostró diferencias. Estos resultados son coherentes con la morfología de las plantas, donde el pasto elefante es una especie de mayor porte, y por lo tanto, de macollos más pesados. Datos

similares fueron publicados por Apezateguía (1999), estudiando la respuesta del cultivar Mott al agregado de nitrógeno. Indicó que con el agregado de 250 kg de N/ha el peso de macollo en marzo fue de 6,53 g, variando los pesos en esta fecha entre 4,92 g y 9,21 g según las dosis de N utilizadas.

Cornaglia et al. (2010) trabajando con 3 cultivares de P.d. encontró una variabilidad en el peso de macollo de entre 0,1 g y 0,3 g. Dependiendo la misma fundamentalmente de la variedad. Menciona que la variedad de mayor porte fue la obtuvo mayores pesos de macollos independientemente de las condiciones hídricas. Siendo este cultivar de mayor porte el que obtuvo resultados similares, en cuanto a peso de macollo, con los observados en el cuadro No. 32.

Hirata y Pakiding (2002) encontraron un rango de pesos de macollos algo inferiores, variando entre 0,07 g y 0,257 g por macollo. También para P.n. los rangos de pesos de macollos reportados fueron muy variables.

En F.a. los datos de pesos de macollos también tienen un amplio rango. Faber (2012) indicó que los pesos de F.a. variaron entre 0,09 g hasta 0,265 g por macollo.

La variación que se observa tanto en número como en peso de macollos es propia de las especies forrajeras con alta capacidad de adaptación. Estando determinadas por características tanto extrínsecas como intrínsecas, que les confiere la plasticidad necesaria para adaptarse a distintos ambientes.

4.4.3. Peso de la fracción lámina de los macollos

El peso de la fracción lámina tuvo también efecto muy significativo únicamente de la especie ($P > 0,0001$), donde P.p. se destacó por sobre el resto como se observa en el cuadro No. 33. Este comportamiento es también atribuible a las características morfológicas de las distintas especies.

Cuadro No. 33. Peso de la porción lámina (g) en promedio según especie

Especie	Peso de porción lámina (g)
<i>P. purpureum</i>	2,80 A
<i>P. dilatatum</i>	0,15 B
<i>P. notatum</i>	0,09 B
<i>F. arundinacea</i>	0,08 B

4.4.4. Peso de la fracción vaina de los macollos

El peso de la fracción vaina mostró efecto significativo únicamente a nivel de especies ($P > 0,0001$), destacándose el P.p.

Cuadro No. 34. Peso de la fracción vaina (g) en promedio según especie

Especie	Peso de porción vaina (g)
<i>P. purpureum</i>	2,28 A
<i>P. dilatatum</i>	0,15 B
<i>P. notatum</i>	0,13 B
<i>F. arundinacea</i>	0,09 B

Era de esperar que la especie de mayor porte (P.p.) fuera la que presente el mayor peso de las vainas.

4.4.5. Peso de la porción caña de los macollos

La porción caña no mostró diferencias entre las especies evaluadas. Sin embargo, debemos mencionar que F.a. y P.p. no produjeron caña, ya que la floración escapa al período evaluado. El peso de la porción caña para P.n. fue de 0,121 g y para P.d. fue de 0,112 g.

4.4.6. Proporción de lámina (%) en el peso de los macollos

Se encontró efecto muy significativo de la especie ($P > 0,0001$) y de la interacción nivel de riego por especie ($P > 0,002$). No se encontró efecto del nivel de riego.

Cuadro No. 35. Proporción de lámina (%) en el peso de los macollos en promedio según especie

Especie	% Lámina
<i>P. purpureum</i>	57 A
<i>F. arundinacea</i>	46 A
<i>P. dilatatum</i>	28 B
<i>P. notatum</i>	24 B

Las especies P.p. y F.a. mostraron superioridad en la proporción de lámina frente a las del género Paspalum.

Cuadro No. 36. Proporción de lámina (%) en los macollos según especie y nivel de riego

Especie	M1	M2	M3
<i>P. purpureum</i>	55 ABC	61 A	55 AB
<i>P. notatum</i>	23 D	23 D	25 CD
<i>P. dilatatum</i>	29 BCD	28 BCD	28 BCD
<i>F. arundinacea</i>	59 A	61 A	17 D

Se logra identificar en el cuadro que P.p. en M2 y F.a. irrigada presentan la mayor proporción de láminas, siendo superiores a todos los tratamientos de las especies del genero Paspalum y a F.a. en M3. La proporción de láminas no difiere entre los distintos tratamientos de P.p. Esta especie con el mayor nivel de riego y en seco no difirió de P.d. irrigado. P.d. bajo riego no tuvo diferencias con P.n. en todos los tratamientos ni con F.a. y P.d. en M3.

La mayor proporción de láminas en *Pennisetum purpureum* cv. Mott está dada genéticamente, ya que es un material modificado en el que se buscó acortar la distancia de entrenudos, obteniendo así plantas con mayor proporción de láminas. Bemhaja (2000), trabajando con *Pennisetum purpureum* Schum var. INIA Lambaré encontró una relación hoja tallo de 0,52. Reporta que el promedio de 17 cultivares de pasto elefante fue de 0,43, variando entre 0,31 y 0,57. Si bien los datos no parecen diferir sustancialmente, ya que la relación lámina vaina encontrada fue de entre 0,55-0,61, las producciones de materia seca evaluadas fueron 100% lámina y sin presencia de tallo. Según Cáceres y Martinelli (2010), quienes también evaluaron el cultivar Mott, encontraron una relación lámina vaina de 0,6; los resultados de MS obtenidos también son resultado de producción de lámina por los mismos motivos ya mencionados en esta evaluación.

Si bien no hay diferencia en peso para las porciones vaina y lámina, sí hubo diferencia en la proporción de lámina de los Paspalum con respecto a F.a. y P.p. La menor proporción de lámina en los macollos para los dos Paspalum es

debida a que estos fueron los únicos en producir cañas floríferas. Las cuales hicieron caer el porcentaje de participación de láminas en el peso del macollo.

La mayor proporción de las mismas encontrada en la F.a. se debió a la estación de evaluación. F.a. es una especie templada que en verano se encuentra en estado vegetativo, sin alargamiento de entrenudos, bajando la proporción de vaina y por ende aumentando la de lámina.

4.4.7. Proporción de vaina (%) en los macollos

La proporción de vaina en los macollos mostró una tendencia en el efecto de la especie ($P > 0,08$). Las medias registradas fueron de 43 para P.p., 42 para P.n., 35 para P.d. y 32 para F.a.

4.4.8. Proporción de caña (%) en los macollos

Al igual que en el peso, la proporción de caña de macollos no mostró diferencias significativas entre P.n. y P.d., sin haberse registrado crecimiento de esta porción en P.p. y F.a. debido al período evaluado. Las medias registradas para P.n. y P.d. fueron de 34% y 40% respectivamente.

4.5. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA POR MM DE AGUA.

Para estudiar la relación entre producción de materia seca por mm de agua, se relacionó la MS producida con cantidad de agua correspondiente a cada tratamiento (riego + precipitaciones totales), ajustándose modelos de regresión lineal por especie, por fracción de la materia seca y período.

En el cuadro No. 37 se presentan los coeficientes de regresión entre la producción de materia seca y mm de agua, según especie, período y fracción.

Cuadro No. 37. Producción de materia seca en respuesta al agregado de agua, según período y fracción de planta

Sp.	Período	Fracción	a	b	r ²	α	IC (95%)
F.a.	Seco	MSL	-971	4,46	0,76	0,0152	1,29 - 7,63
	Total	MSL	-913	4,29	0,66	0,0003	2,39 - 6,19
P.n.	Seco	MSLT	3444	4,76	0,86	0,0063	2,05 - 7,47
		MST	517	3,09	0,77	0,0188	0,77 - 5,4
P.d.	Seco	MSLT	2072	10,4	0,88	0,0027	5,56 -15,24
		MSL	2562	2,88	0,84	0,0222	0,62 – 5,14
		MST	-490	7,52	0,75	0,0132	2,38 – 12,66
P.p.	Seco	MSL	6172	18,5	0,68	0,026	3,3 – 33,7

Para todas las especies los modelos significativos se obtuvieron en el período seco. Este resultado era esperable por lo discutido anteriormente. En el caso de F.a. también fue significativo el modelo para todo el período evaluado y una tendencia en el período lluvioso. Reducciones en rendimiento del orden de 12 kg/mm de agua utilizada fueron observadas por Martin et al. (2008) tanto para *Festuca arundinacea* como para *Lolium perenne* cuando fueron llevadas al máximo potencial de déficit de humedad en suelo. Demostrando la baja adaptación de la especie al estrés hídrico estival, y en el cuadro No. 37 se logra visualizar la respuesta positiva en producción de materia seca al agregado de agua. Producción correspondiente a la fracción lámina, debido a la altura de corte en la que se evaluó y a que la especie se encontraba en etapa vegetativa.

Tanto para las especies del género *Paspalum* como para P.p. el modelo de materia seca de lámina + tallo fue significativo para el período seco. Durante este período las producciones por milímetro fueron mayores en estas tres especies en comparación con F.a., haciéndose máxima la respuesta en P.p. Sin embargo, si bien la respuesta en materia seca fue positiva en las especies del género *Paspalum*, al estudiar el modelo según fracción se logra visualizar que ese aumento en producción está mayormente dado por la fracción tallo. Sobre todo en P.d., que es el que logra mayor respuesta por milímetro entre las dos subtropicales. Estos aparentes aumentos en producción de caña podrían ser

explicados por Cornaglia et al. (2010). Los cuales evaluando la respuesta al estrés hídrico en *Paspalum dilatatum*, encontraron que la producción de caña y elongación de lámina disminuyen en un 52% y 36% respectivamente. Mientras que la tasa de aparición de hojas y la duración de elongación de hojas permanecen incambiadas por deficiencias hídricas.

4.5.1. Respuesta al agregado de agua en producción de materia seca lámina + tallo.

Se evaluó la respuesta en producción de materia seca por mm de agua agregado para el período comprendido entre el 4 de enero y el 28 de febrero. Se consideró este período por ser el de mayor respuesta en materia seca por falta de interferencia de factores climáticos. Dado que se toma el período central que no fue ni seco ni lluvioso.

Cuadro No. 38. Respuesta en producción de materia seca lámina + tallo al agregado de agua en período central.

Especie	a	b	r²	α	IC (95%)
<i>F. arundinacea</i>	-439,4	2,57	0,56	0,0022	1,1 – 4,0
<i>P. notatum</i>	3036,3	6,35	0,73	0,0001	4,0 – 8,7
<i>P. dialatum</i>	2495,1	8,00	0,76	0,0001	5,3 – 10,7
<i>P. purpureum</i>	5776,7	21,26	0,77	0,0001	14,3 – 28,2

El modelo de regresión fue significativo para todas las especies en estudio. P.p. fue superior, produjo 21,26 kg/mm. P.n. y P.d. mostraron respuestas de 6,35 y 8,00 kg/mm, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. F.a. produjo 2,57 kg de materia seca por cada mm agregado, siendo inferior al resto de las especies.

Estas diferencias en los coeficientes de regresión indican diferentes eficiencias en el uso del agua de los grupos, siendo la tropical la de mayor eficiencia, seguida por las subtropicales y la especie templada con la menor.

4.6. PRODUCCIÓN DE MS/GD

Se estudió la producción de materia seca en función de los grados día. Se ajustaron los modelos de regresión según especie y nivel de agua, para evaluar la capacidad de respuesta al riego de cada especie.

4.6.1. *Festuca arundinacea*

El cuadro No. 39 muestra los modelos de regresión ajustados para acumulación de materia seca en kg/ha/GD en los manejos de agua.

Cuadro No. 39. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de *Festuca arundinacea*

Nivel de riego	a	b	r ²	α	IC (95%)
M1	526	0,65	0,89	0,0015	0,33 – 0,97
M2	77	0,37	0,94	0,0001	0,29 – 0,45
M3	-90	0,15	0,71	0,077	-0,2 – 0,33

En el tratamiento de secano el Intervalo de Confianza (IC) comprende el valor 0, por lo que la regresión no existe. Para M1 se producen 0,65 kg/ha/GD de materia seca, y para M2 0,37 kg/ha/GD, si bien el coeficiente b para M1 es casi el doble que en M2, no se reportan diferencias estadísticas ya que los intervalos de confianza para el coeficiente de regresión se solapan.

4.6.2. *Paspalum notatum*

Cuadro No. 40. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de *Paspalum notatum*

Nivel de riego	a	b	r ²	α	IC (95%)
M1	126	3,58	0,97	0,0001	3,02 – 4,14
M2	-189	3,50	0,96	0,0001	2,93 – 4,07
M3	-34,4	3,14	0,95	0,0001	2,56 – 3,72

Para todos los casos el modelo de regresión fue significativo, sin diferencias entre los niveles de riego y el secano, produciendo 3,58, 3,50 y 3,14 kg/GD de MS para M1, M2 y M3 respectivamente, sin ser estadísticamente diferentes entre ellos. Lo que demuestra la adaptación y capacidad de producción de esta especie en la región.

4.6.3. *Paspalum dilatatum*

Cuadro No. 41. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de *Paspalum dilatatum*

Nivel de riego	a	b	r ²	α	IC (95%)
M1	362	4,04	0,94	0,0001	3,17 – 4,91
M2	60	3,06	0,97	0,0001	2,57 – 3,54
M3	-641	3,62	0,94	0,0001	2,97 – 4,36

Al igual que en P.n., el modelo de regresión fue significativo para todos los casos, sin diferencias entre los niveles de riego y el secano. Demostrándose

también para esta la adaptación al período estival de la región. Se produjeron 4,04, 3,06 y 3,62 kg/GD de MS para M1, M2 y M3 respectivamente, sin ser estadísticamente diferentes entre ellos.

4.6.4. *Pennisetum purpureum*

Cuadro No. 42. Coeficientes de regresión para la producción de materia seca en kg/ha/GD de *Pennisetum purpureum*

Nivel de riego	a	b	r ²	α	IC (95%)
M1	-2739	12,04	0,98	0,0001	10,72 – 13,36
M2	-2682	10,90	0,95	0,0001	8,62 – 13,17
M3	-3393	9,24	0,99	0,0001	8,42 – 10,06

El modelo de regresión para P.p. fue significativo para todos los tratamientos. Sólo se encontraron diferencias significativas en kg/GD de materia seca entre el tratamiento que recibió el máximo nivel de riego y el seco, mostrando M2 un comportamiento intermedio. La mínima producción fue de 9,24 y la máxima de 12,04 kg/GD de MS.

4.7. RELACIÓN ALTURA/GD

Se estudió la relación existente entre la evolución de la altura y la suma térmica. Encontrando distintos modelos según período, especie y nivel de riego.

4.7.1. Festuca arundinacea

Cuadro No. 43. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en *Festuca arundinacea*

Período	Nivel de riego	MODELO	r ²	p
2	M1	Y=4,11+0,22x	0,95	0,0001
2	M2	Y=4,64+0,14x	0,67	0,0002
2	M3	Y=3,3+0,005x	0,067	0,35
3	M1	Y=4,46+0,03x-0,00002x ²	0,83	0,0003
3	M2	Y=3,6+0,036x-0,000032x ²	0,86	0,0001
3	M3	Y=1,76+0,011x	0,21	0,13
4	M1	Y=2,16+0,04x-0,000034x ²	0,90	0,0001
4	M2	Y=2,9+0,04x-0,000036x ²	0,78	0,0001
4	M3	Y=1.35+0,004x	0,07	0,28

En el período dos, la relación altura/GD mostró un comportamiento lineal con gran significancia del modelo y altos coeficientes de regresión para los manejos de agua uno y dos. Para el tratamiento de seco, no se pudo establecer una relación clara entre las variables evaluadas.

La relación entre altura/GD se ajustó mejor a un modelo de regresión cuadrático para los manejos de agua uno y dos. Para el seco no fue posible establecer un modelo que represente la relación entre ambas variables. Dado posiblemente por la mala implantación de F.a. que provocó un rango muy amplio en los datos obtenidos en secanos.

4.7.2. *Paspalum notatum*

Cuadro No. 44. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en *Paspalum notatum*

Período	Nivel de riego	MODELO	r ²	p
2	M1	$Y=3,49+0,049x-0,000036x^2$	0,86	0,0001
2	M2	$Y=3,8+0,041x-0,000023x^2$	0,96	0,0001
2	M3	$Y=3,9+0,019x$	0,89	0,0001
3	M1	$Y=3,7+0,054x-0,000054x^2$	0,93	0,0001
3	M2	$Y=3,23+0,052x-0,000045x^2$	0,90	0,0001
3	M3	$Y=3,4+0,052x-0,000047x^2$	0,94	0,0001
4	M1	$Y=5,12+0,082x-0,00010x^2$	0,13	0,366
4	M2	$Y=2,40+0,052x-0,000050x^2$	0,90	0,0001
4	M3	$Y=3,5+0,031x-0,000025x^2$	0,84	0,0001

Para los tres tratamientos los modelos fueron muy significativos, evidenciándose la relación entre altura y suma térmica. Los tratamientos bajo riego mostraron en la relación entre sus variables un comportamiento cuadrático, mientras que para el secano en el período 2 el comportamiento fue lineal.

Estos modelos cuadráticos demuestran que el peso de las láminas hicieran que estas cayeran. Lo cual indica haber superado el IAF óptimo, provocando sombreado y una menor eficiencia en la utilización de la radiación incidente. Esto podría estar evidenciando un período entre cortes demasiado extenso, que pudo haber limitado la producción total de MS.

El modelo lineal, tratamiento de secano para el período 2, demuestra que el déficit hídrico limitó el crecimiento de la especie.

4.7.3. *Paspalum dilatatum*

Cuadro No. 45. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en *Paspalum dilatatum*

Período	Nivel de riego	MODELO	r^2	p
2	M1	$Y=5,09+0,031x$	0,94	0,0001
2	M2	$Y=4,17+0,027x-0,000019x^2$	0,86	0,0001
2	M3	$Y=4,63+0,013x$	0,84	0,0001
3	M1	$Y=4,40+0,042x-0,000038x^2$	0,94	0,0001
3	M2	$Y=3,60+0,047x-0,000044x^2$	0,94	0,0001
3	M3	$Y=4,08+0,037x-0,000026x^2$	0,98	0,0001
4	M1	$Y=3,95+0,038x-0,000036x^2$	0,83	0,0001
4	M2	$Y=4,64+0,030x-0,000034x^2$	0,42	0,0166
4	M3	$Y=6,16+0,018x-0,000018x^2$	0,20	0,1983

Se observa en el cuadro No. 45 que para el período 2 en el manejo de agua 1 el modelo que mejor se ajusta es el de respuesta lineal al igual que en el secano. Sin embargo, para el manejo de agua 2 el modelo que mejor se ajusta es el de respuesta cuadrática.

En el resto de los casos la relación entre la altura y suma térmica se comporta de manera cuadrática para todos los manejos de agua y para el

secano. Indicando nuevamente un período entre cortes excesivo, que posiblemente afectó la producción de esta especie.

4.7.4. Pennisetum purpureum

Cuadro No. 46. Modelos de relación altura/GD para los distintos manejos de agua y período en *Pennisetum purpureum*

Período	Nivel de riego	MODELO	r ²	p
2	M1	$Y=36,10+0,20x-0,00014x^2$	0,95	0,0001
2	M2	$Y=31,66+0,20x-0,00016x^2$	0,97	0,0001
2	M3	$Y=34,13+0,15x-0,000092x^2$	0,95	0,0001
3	M1	$Y=37,00+0,15x-0,000097x^2$	0,96	0,0001
3	M2	$Y=33,47+0,18x-0,00013x^2$	0,96	0,0001
3	M3	$Y=33,02+0,16x-0,00011x^2$	0,99	0,0001
4	M1	$Y=30,79+0,15x-0,00011x^2$	0,95	0,0001
4	M2	$Y=29,36+0,17x-0,00014x^2$	0,89	0,0001
4	M3	$Y=30,51+0,17x-0,0001x^2$	0,93	0,0001

El P.p. mostró un comportamiento cuadrático en todos los manejos de agua y para todos los períodos. Se debería disminuir el período entre cortes de manera de hacer más eficiente la producción, ya que su rápido crecimiento hace que se alcance el IAF óptimo rápidamente.

4.8. CONSIDERACIONES FINALES

Pennisetum purpureum se presenta como la especie de mayor producción de materia seca estival, seguida por las especies subtropicales *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* y en último lugar la especie templada *Festuca arundinacea*. A mayor temperatura y mayor radiación se favorece el crecimiento de las especies tropicales sobre las subtropicales y estas últimas por sobre las templadas. El pasto elefante enano presentó la mayor producción de materia seca y de materia seca de lámina, tanto en riego como en seco y para todo el período evaluado. Es la gramínea que presentó la mayor respuesta al agregado de agua, demostrando ser una gran opción como forrajera estival, tanto en sistemas de riego como en seco.

Se resalta la importancia de una correcta implantación, sea cual sea la especie, es fundamental la obtención de un adecuado número de plantas ya que esto determinará una mayor capacidad de competencia y un menor enmalezamiento. Siendo esto último clave para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua y en la propia persistencia de la pastura. Formoso et al. (2002) indican que el riego promueve tanto el crecimiento de las pasturas como de las malezas, pudiendo estas disminuir el potencial de producción por fuertes competencias, llegando incluso a verificarse mayores producciones de forraje en chacras sin riego en comparación con las regadas.

Con riego se obtuvieron mayores producciones de materia seca que en los tratamientos de seco, siendo máxima la diferencia en el período definido como seco. También durante este período se registraron las mayores eficiencias en uso de agua. Período en el cual la temperatura y radiación diarias se hicieron máximas y mínimas las precipitaciones. Datos que concuerdan con los aportados por Jia et al. (2009) evaluando *Paspalum notatum* en Florida, Estados Unidos, obtuvieron el valor máximo de kc (0,9) durante el mes de mayo. Mes en el que se corresponden los máximos déficits de presión de vapor, menor presencia de nubes y mayor irradiación. Durante el verano el aumento de nubes y precipitaciones frecuentes incrementaron la nubosidad y redujeron el uso de agua por la pastura. Durante el segundo período evaluado, o período lluvioso, las diferencias en producción de materia seca y eficiencia en uso de agua se minimizaron entre los tratamientos evaluados. Tanto por el aumento en precipitaciones como por condiciones climáticas menos favorables para el crecimiento (disminución de la radiación y temperatura diaria). El aumento de las precipitaciones y la recarga de los horizontes de suelo, con una pastura establecida capaz de extraer agua de horizontes más profundos, pueden

disminuir los efectos de los tratamientos evaluados. Parry et al. (1992) trabajando con 5 gramíneas bajo riego expresaron que las mismas extrajeron agua a 80 cm de la superficie, e indican que en buenas condiciones de crecimiento las pasturas pueden extraer agua de hasta 110 cm de profundidad. También afirman que las que más produjeron fueron las que presentaron mayor eficiencia en uso de agua. La disminución progresiva en horas luz diaria pudo haber afectado negativamente las tasas de crecimiento observadas, debido a la sensibilidad de las especies al fotoperiodo. Siendo las tasas de crecimiento significativamente menor en promedio para el período lluvioso. Sinclair et al. (2001) estudiando el efecto del fotoperiodo, encontraron que en Pensacola el tratamiento con mayor fotoperiodo produjo aumentos en el rendimiento. Demostrando la sensibilidad al fotoperiodo y la posibilidad de mejorar genéticamente este material, ya que no se detectaron efectos adversos en persistencia o productividad durante la primavera/verano al inducir el crecimiento en invierno.

Si bien no hubo diferencias significativas en producción de materia seca total entre las especies de *Paspalum* evaluadas, si hubo diferencias significativas en la producción promedio de fracción tallo. La cual fue mayor en *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum*. Beaty et al., citados por Flores Soares (1977), indicaron que la altura de corte de 5 cm tendería a subestimar la producción de *P. notatum*, ya que el 56% a 58% del forraje producido por el cultivar Pensacola se encuentra dentro de los primeros 5,08 cm de la superficie del suelo, quedando demostrado el buen comportamiento agronómico evidenciado por *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. Pensacola en esta evaluación. La altura de corte pudo haber afectado también la productividad de *Paspalum dilatatum*, Barreto et al. (1978) encontraron aumentos en producción cuando se aumentó el remanente de 5 cm a 10 cm en el ecotipo depressao central. En cuanto a la respuesta en producción de materia seca lámina tallo al agregado de agua, tampoco hubo diferencias significativas. Y el aumento en producción debido al agregado de agua estaría mayormente explicado por aumentos de la fracción tallo.

Festuca arundinacea cv. Tacuabé presentó la menor producción de materia seca total y materia seca lámina tallo. También fue la que tuvo menor respuesta en producción de materia seca al agregado de agua. Aunque si bien tuvo la menor respuesta, esta fue significativa para todo el período de evaluación, y debido a que se encontraba en etapa vegetativa la misma fue perteneciente a la fracción lámina. Se debe tener en cuenta que la *Festuca* no se implantó correctamente, obteniéndose una menor población de macollos a la

esperada, presentando altos enmalezamientos y por consiguiente una fuerte competencia por recursos. Sería esperable un mejor comportamiento logrando una buena implantación, tanto en producción de materia seca como en respuesta al riego. Producciones de 3,5 tt/há y eficiencias de 8,3 kg MS/mm aplicado fueron reportadas por Formoso (2010), evaluando *Festuca arundinacea* bajo riego.

Perry (1987) afirma que el riego en pasturas perennes es crítico para el futuro en la producción animal intensiva, ya que generan el potencial de producción para todo el año. Siendo estas las que pueden proporcionar ventajas competitivas claves para las zonas de regadío.

5. CONCLUSIONES

Gramíneas tropicales en el período estival producen más materia seca que subtropicales y estas que templadas.

Con máximo nivel de riego se maximizaron las producciones de materia seca para todo el período y todas las especies evaluadas.

Durante el período seco se hicieron máximas las diferencias entre riego y secano, tanto por el estrés hídrico de los secanos como por las mejores condiciones de radiación y temperatura que capitalizaron en mayor producción los tratamientos bajo riego.

El nivel de agua no modificó la población de la especie Tropical ni en las Subtropicales, sí en la Templada.

El peso de los macollos no fue modificado por el nivel de agua.

Pennisetum purpureum cv. Mott presentó la mayor producción de materia seca y eficiencia en uso de agua.

La tasa de crecimiento expresada en kg/ha/GD fue afectada por el nivel de riego únicamente en *Pennisetum purpurem*.

La gran diferencia entre las especies evaluadas en cuanto a morfología de planta y potencial de producción enmascaró posibles diferencias al analizar determinadas variables.

En el futuro se deberían evaluar más gramíneas perennes tropicales para incluir en sistemas con riego, que permitan aumentar la oferta de forraje en menor área y con menores costos, dándole mayor estabilidad a los sistemas de producción.

6. RESUMEN

Los aumentos en el valor de la tierra y su inevitable efecto en la rentabilidad de los sistemas agropecuarios ejercen una presión constante hacia la intensificación de la producción. Todo esto enmarcado en un contexto de cambio climático, en el que si bien no se logran visualizar las diferencias, si se toman en cuenta solamente los promedios anuales en contrapartida con los promedios históricos, hay un claro aumento de los eventos climáticos extremos (Intensidad de lluvias, sequías, etc. Con mayor intensidad y frecuencia). Como respuesta a todos estos cambios el riego en pasturas parecería ser una herramienta capaz de adaptarse y solucionar la problemática de estos nuevos sistemas. El objetivo del siguiente trabajo es cuantificar la respuesta al riego obtenida por gramíneas perennes. Grupo capaz de responder al riego con altos niveles de producción de materia seca por unidad de área, con bajos costos de implantación anual, logrando mantener la oferta de forraje y los niveles productivos durante todo el ejercicio, y por tanto minimizando riesgos. El trabajo experimental fue realizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay. Siendo evaluadas cuatro especies, *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum*, *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. Pensacola, *Pennisetum purpureum* cv. Mott y *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé. Las mismas fueron dispuestas en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones en parcelas divididas, totalizando doce tratamientos (tres niveles de riego y cuatro especies). El período experimental comenzó el 8 de diciembre de 2010 y finalizó el 4 de abril de 2011. Evaluándose para cada tratamiento la altura, producción y composición de materia seca, densidad de macollos, peso de macollos y eficiencia en uso de agua. Los resultados indicaron que las producciones alcanzadas con el mayor nivel de riego fueron significativamente superiores al secano. *Pennisetum purpureum* se presentó como la especie con mayor respuesta al riego, siendo máximos sus niveles de producción y eficiencia en uso de agua. Destacándose que la producción evaluada fue perteneciente únicamente a la fracción lámina. *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* no mostraron diferencias significativas entre ellas en producción, pero ambas superiores a *Festuca arundinacea*.

Palabras clave: *Festuca arundinacea*; *Paspalum dilatatum*; *Paspalum notatum*; *Pennisetum purpureum* cv Mott; Riego; Materia seca.

7. SUMMARY

The increases in the value of soil and its inevitable effect in the profitability of the agricultural systems, put a constant pressure towards the intensification of the production. The aforementioned has to be enclosed in a context of climate change, in which, (although the differences may not be easily visualized), if we take into consideration the annual averages and compare them to the historical averages, there is a notorious rise in the extreme climatic events (intensity of rains, droughts, etc, which have occurred with much more strength and frequency). The irrigation of pastures seems to appear as a tool capable of adjusting to these changes and contributes to solve the problems caused by these new systems. The aim of the present work investigation is to quantify the reaction caused by perennial grasses, when irrigation systems are applied. This group of grass has proved to be capable of responding to irrigation with high levels of dry matter by unit of area, and low annual implantation costs, while preserving the supply of forage and the productive levels during all the productive year, therefore minimizing risks. The work investigation took place at the *Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía* located in the department of Paysandú, Uruguay. To execute this work, four species were evaluated: *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum*, *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. *Pensacola*, *Pennisetum purpureum* cv. *Mott* y *Festuca arundinacea* cv. *Tacuabé*. These species were organised in full blocks and placed randomly in plots, making a total of twelve treatments (three watering levels and four species), being repeated three times. The experiment commenced on the 8th of December 2010 and ended on the 4th of April 2011. In every case, the aspects evaluated were: height, production and composition of dry matter, density and weight of tillers and efficiency in the use of water. The results indicated that the yielding obtained with the highest level of irrigation was significantly superior than in dry land. *Pennisetum purpureum* emerged as the species with the best reaction to watering, reaching its highest level of production and efficiency with the use of water. It is pertinent to point out that the analyzed production was based on the blade of the leaf. *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* did not show significant differences between them in regards with production. However, their performance was superior than *Festuca arundinacea*.

Key words: *Festuca arundinacea*; *Paspalum dilatatum*; *Paspalum notatum*; *Pennisetum purpureum* cv *Mott*; Irrigation; Dry matter.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AGGARWAL, P.K.; SINHA, S.K. 1983. Water stress and water-use efficiency in field grown wheat; a comparison of its efficiency with that of C4 plants. *Agricultural Meteorology*. 29: 159-167.
2. ALMEIDA, E.X. 1997. Oferta de forragem de capim elefante anão (*Pennisetum purpureum* SCHUM. cv. Mott), dinâmica da pastagem e sua relação com o rendimento animal no alto Vale do Itajaí. Tese Doutorado em Zootecnia. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 112 p.
3. ALVIM, M.J.; DE ANDRADE, M.; NOVELLY, P.E. 1986. Produção de gramíneas tropicais e temperadas, irrigadas na época seca. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 15 (5): 384-392.
4. ANASENKO, K.R.; VILELA, L.; GONÇALCES, G.; GUERRA, A.F.; DA SILVA, J.M. 2003. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no cerrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32 (2): 268-275.
5. ANDRÉ, M.J. 2011. Photosynthesis and photorespiration, c4 plants; advantages and paradoxes. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*. 2 (2): 191-202.
6. ARAUJO, S. A. C.; VÁSQUEZ, H. M.; SILVA, J. F. C.; LIMA, E. S.; LISTA, F. N.; DEMINICIS, B. B.; CAMPOS, P. R. S. S. 2011. Produção de matéria seca e composição bromatológica de genótiós de capim-elefante anão. *Archivos de Zootecnia*. 60 (229): 83-91.
7. ASAY, K.H.; JENSEN, K.B.; WALDRON, B.L. 2001. Responses of tall fescue cultivars to an irrigation gradient. *Crop Science*. 41: 350-357.
8. AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª ed. Madrid, Mc Graw-Hill Interamericana. 651 p.

9. AYALA, W.; BEMHAJA, M.; COTRO, B.; DOCANTO, J.; GARCÍA, J.; OLMOS, F.; REAL, D.; REBUFFO, M.; REYNO, R.; ROSSI, C.; SILVA, J. 2010. Forrajas; catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 131 p.
10. BAETHGEN, W.E.; TERRA, R. 2010. El riego en un clima cambiante. In: Seminario Internacional Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas (1º., 2010, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-18.
11. BALDOCCHI, D. 1994. A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn) crop; II. CO₂ exchange and water use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*. 67: 291-321.
12. BARRETO, I.; JACQUES, A.V.; FLORES SOARES, H.H. 1978a. Efeitos da altura de corte e estadios de crescimento sobre a produção de matéria seca, concentração de glúcidos e proteína bruta em *Paspalum dilatatum*, Poir. ecotipo Antera amarela. *Anuário Técnico do IPZFO (Porto Alegre)*. 5 (1): 325-335.
13. _____.; _____.; _____. 1978b. Efeitos da altura de corte e estadios de crescimento sobre a produção de matéria seca, concentração de glúcidos e proteína bruta em *Paspalum dilatatum*, Poir. ecotipo Depressão central. *Anuário Técnico do IPZFO (Porto Alegre)*. 5 (1): 311-324.
14. _____.; _____.; _____. 1978c. Efeitos da altura de corte e estadios de crescimento sobre a produção de matéria seca, concentração de glúcidos e proteína bruta em *Paspalum dilatatum*, Poir. ecotipo Torres. *Anuário Técnico do IPZFO (Porto Alegre)*. 5 (1): 337-347.
15. BEATY, E.R.; POWELL, J.; STANLEY, R.L. 1968. Effect of height of cut on yield of Pensacola bahiagrass. *Agronomy Journal*. 60 (4): 356-358.
16. BEMHAJA, M. 2000. Pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) INIA Lambaré. Tacuarembó, INIA. 14 p. (Boletín de Divulgación no. 72).
17. BERGOTTINI, J.G.; DE ALENCAR, C.A.; RIBEIRO, E.G.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; FERNANDES, A.M. 2006. Influência da irrigação

sobre a disponibilidade, a composição química, a digestibilidade e o consumo dos capins mombaça e napier. Revista Brasileira de Zootecnia. 35 (6): 2381-2387.

18. BOGGIANO, P.R. 1990. Evaluación de 14 gramíneas perennes bajo pastoreo. In: Seminario Nacional de Campo Natural (2º., 1990, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 185-195.
19. BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. 1991. Efeito da irrigação sobre algumas características agronômicas de cultivares de capim-elefante. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 26 (10): 1731-1736.
20. BRASILEIRO, C.A.; ALVES, R.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A.C.; AGUIAR, J.L.; FRANÇA, F. 2009. Lâminas de irrigação e estações anuais na cobertura do solo e altura de gramíneas cultivadas sob corte. Acta Scientiarum. Agronomy. 31 (3): 467-472.
21. CÁCERES, D.; MARTINELLI, M. 2010. Evaluación de tres materiales de *Pennisetum purpureum* Schum. (Pasto elefante). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 70 p.
22. CARÁMBULA, M. 2007. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 357 p.
23. CHAIEB, M.; LE FLOCH, H.E.; PONTANIER, R. 1996. C3 and C4 plants: competition or complementarity?; II. Water potential and water use efficiency. In: International Rangeland Congress (5th., 1995, Salt Lake City, Utah, USA). Rangelands in a sustainable biosphere; proceedings. Denver, Society for Range Management. pp. 89-90.
24. COOPER, J. P.; TANTON, N. M.; Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. Herbage Abstracts. 38: s.p.
25. CORNAGLIA, P.S.; COUSO, L.L.; FERNÁNDEZ, R.J.; GATTI, M.L.; SCHRAUF, G.E. 2010. Are more productive varieties of *Paspalum dilatatum* less tolerant to draught? Grass and Forage Science. 65: 296-303.
26. CRESPI, R.; RIVETTI, A.R.; PAGLIARICCI, H.; OHANIAN, A.; PEREYRA, T.; DIAZ, M.P. 2001. Comportamiento hídrico y

eficiencia del uso del agua en una pastura consociada. Ingeniería del Agua. 8 (4): 433-440.

27. DA CUNHA, F.F.; ALVES, A.; CHARTUNI, E.; CHOHAKU, G.; GOMES, O.; DE SOUZA, F.V. 2008. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frecuencias de irrigação. Maringá. 30 (1): 103-108.
28. DE AZEVEDO, M.; AZEVEDO, J.; MIRANDA, D.; MORAES, I.; PAIVA, F.; GUIMARÃES, D.J.; ALVES, R.; RIBEIRO, J.I. 2011. Influência da irrigação, da densidade de plantio e da adubação nitrogenada nas características morfogênicas, estruturais e de produção do capim-tanzânia. Revista Brasileira de Zootecnia. 40 (11): 2308-2317.
29. DE SOUZA, P.A.; PRESNO, J.P. 2013. Productividad invierno primaveral de praderas mezclas con *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* en su tercer año pastoreadas con novillos holando con distintas dotaciones. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. s.p.
30. DOS SANTOS, R.; MIRANDA, D.; ALVES, R.; DO NACIMENTO, D.; CARVALHO, A.; STOCK, L.A.; MARTINS, C.E. 2003. Disponibilidade de matéria seca em pastagens de Capim-Elefante irrigadas. Ciência e Agrotecnologia. 27 (6): 1388-1394.
31. EVANS, J.R.; GHANNOUM, O.; VON CAEMMERER, S. 2011. C4 photosynthesis and related CO2 concentrating mechanisms. s.l., Springer. pp. 129-146.
32. FABER, A.C. 2012. Estructura de parches de pastoreo y selección animal en pasturas de festuca a diferente altura. Tesis de Magister. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. s.p.
33. FERRARIS, R. 1978. The effect of photoperiod and temperatura on the first crop and ratoon growth of *Pennisetum purpureum* Schum. Australian Journal of Agricultural Research. 29: 941-950.
34. FLORES SOARES, H.H. 1977. Efeito de doses de nitrogênio e de intervalos entre cortes sobre a produção de matéria seca e proteína bruta de dois ecotipos de *Paspalum dilatatum* Poir, um ecotipo de *Paspalum notatum* Fluegge e a cultivar Pensacola (P.

notatum Fluegge var. sauræ Parodi). Anuário Técnico do IPZFO (Porto Alegre). 4: 201-232.

35. FORMOSO, F.; SAWCHIK, J. 2002. Respuesta al riego en pasturas, producción de forraje y semillas INIA La Estanzuela. In: Inserción del Riego por Gravedad en los Sistemas de Producción Agropecuaria (1º, 2002, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Instituto Plan Agropecuario. pp. 19-22.
36. _____. 2010. *Festuca arundinacea*, manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. 192 p. (Serie Técnica no. 182).
37. FRANÇA, F.; MOTA, M.; BRASILEIRO, C.A.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A.C.; ALVES, R. 2010. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. Acta Scientiarum. Agronomy. 32 (2): 351-357.
38. GARCÍA, J.; MILLOT, J. C. 1978. Estanzuela Tacuabé, primera variedad de *Festuca arundinacea* creada para el Uruguay. Revista de la Asociación Ingenieros Agrónomos del Uruguay. no. 9:33-36.
39. GARCÍA, J.A. 1971. Influencia de factores ambientales sobre el rendimiento y calidad de semilla de tres biotipos de *Paspalum dilatatum* Poir. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 128 p.
40. _____.; REBUFFO, M.; FORMOSO, F.; ASTOR, D. 1991. Producción de semillas forrajeras; tecnologías en uso. Montevideo, INIA. 29 p. (Serie Técnica no. 2).
41. GERDES, L.; BARBOSA, H.; WERNER, J.C.; COLOZZA, M.T.; DOS SANTOS, L.E.; DA CUNHA, E.A.; SARTORI, M.; SCHAMMASS, E.A. 2005. Características do dossel forrageiro e acúmulo de forragem em pastagem irrigada de Capim-Aruana exclusivo ou sobre-semeado com uma mistura de espécies forrageiras de invierno. Revista Brasileira de Zootecnia. 34 (4): 1088-1097.
42. GIFFORD, R.M. 1974. A comparison of potential photosynthesis, productivity and yield of plant species with differing photosynthetic metabolism. Australian Journal of Plant Physiology. 1 (1): 107 – 117.

43. GIORELLO, D. 2012. Riego en pasturas (en línea). Salto, Uruguay, INIA. s.p. Consultado 20 oct. 2012. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/salto_grande/actividades/2012/ForrajerasGiorello.pdf
44. GONÇALVES, V.J.; TAVARES, S.; JUNQUIRA, E.C.; RIBEIRO, V.; GONÇALVES, F.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A.C.; WALKER, S.F. 2010. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Zootecnia. 39 (6): 1191-1199.
45. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; MESQUITA, V. 2011. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período chuvoso no norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 12 (4): 908-922.
46. HADDAD, C.M.; DOMÍNGUES, J.L.; FERREIRA, F.G.; MONTEIRO, L.F. 1999. Características de produção e valor nutritivo do capim Pensacola (*Paspalum notatum* Fluegge var. Saurae Parodi) em função da idade de corte. Scientia Agricola (Piracicaba). 56 (3): s.p.
47. HANNA, W.W.; MONSON, W.G. 1988. Registration of dwarf tift N75 napiergrass germplasm. Crop Science. 28 (5): 870-871.
48. HILL, K.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. 1989. Yield, persistence and dry matter digestibility of some C3, C4 and C3/C4 *Panicum* species. Tropical Grasslands. 23 (4): 240-249.
49. HIRATA, M.; PAKIDING, W. 2001. Tiller dynamics in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. Tropical Grasslands. 35: 151-160.
50. _____.; _____. 2002. Dynamics in tiller weight and its association with herbage mass and tiller density in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. Tropical Grasslands. 36: 24-32.
51. HUNT, W. F. 1979. Effects of treading and defoliation height on the growth of *Paspalum dilatatum* Poir. New Zealand Journal of Agricultural Research. 22: 69 -75.

52. INERRANTE, S. M.; SOLLENBERGER, L.E.; BLOUNT, A.R.; WHITE, U.R.; LIU, K.; COLLEMAN, S.W. 2009. Defoliation management of Bahiagrass germplasm affects dry matter yield and herbage nutritive value. *Agronomy Journal*. 101 (4): 989-995.
53. JENSEN, K.B.; ASAY, K.H.; WALDRON, B.L. 2001. Dry Matter production of orchardgrass and perennial ryegrass at five irrigation levels. *Crop Science*. 41: 479-487.
54. JIA, X.; DUKES, M.D.; JACOBS, J.M. 2009. Bahiagrass crop coefficients from eddy correlation measurements in central Florida. *Irrigation Science*. 28: 5-15.
55. JONES, H.G. 1992. *Plants and microclimate; a quantitative approach to environmental plant physiology*. 2nd. ed. Cambridge, University Cambridge Press. 456 p.
56. JUAREZ, J.; BOLAÑOS, E.D. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*. 23 (001): 81-90.
57. KALAIPOS, T.; VAN DEN BOOGAARD, R.; LAMBERS, H. 1996. Effect of soil drying on growth, biomass allocation and leaf gas exchange of two annual grass species. *Plant and Soil*. 185 (1): 137-149.
58. KARATASSIOU, M.; NOITSAKIS, B. 2010. Changes of the photosynthetic behaviour in annual C3 species at late successional stage under environmental drought conditions. *Photosynthetica*. 43 (3): 377-382.
59. LOURENÇO, L.F. 2004. Avaliação da produção de capim Tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio do solo. (em linha). Dissertação de Mestrado. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. s.p. Consultado 13 ago. 2012. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-26082004-160907/>
60. LUCEY, R.F.; TESAR, M.B. 1965. Frequency and rate of irrigation as factors in forage growth and water absorption. *Agronomy Journal*. 57 (6): 519-523.

61. MC CARRON, J.K.; KNAPP, A.K. 2001. C3 woody plant expansion in a C4 grassland: are grasses and shrubs functionally distinct? *American Journal of Botany*. 88 (10): 1818-1823.
62. MCCREE, K.J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*. 10: 443-453.
63. MALDONADO, H.; DAHER, R.F.; PEREIRA, A.V.; FERNANDES, A.M.; DA SILVA, C.; CHAGAS, L.C.; BORGES, A. 1997. Efeito da irrigação na produção de matéria seca do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) em campos dos Goytacazes, RJ. In: Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia (34^{a.}, 1997, Juiz de Fora, MG, Brazil). Trabalhos apresentados. s.n.t. pp. 216-217.
64. MANSFIELD, C.W.; MISLEVY, P.; HAMMOND, L.C. 1990. Yield and nutritive value of forages grown under irrigated and nonirrigated conditions. *Tropical Grasslands*. 24: 55-60.
65. MARTIN, R.J.; KNIGHT, T.L.; GILLESPIE, R.N.; RIDDLE, M.U.; FRASER, T.J. 2008. Growth and water use of perennial ryegrass and tall fescue under different irrigation treatments. In: International Grasslands Congress (21^{st.}, 2008, s.l.). Proceedings. s.n.t. cap. 1, p. 835.
66. MARTINIELLO, P. 1999. Effects of irrigation and harvest management on dry-matter yield and seed yield of annual clovers grown in pure stand and in mixtures with graminaceous species in a Mediterranean environment. *Grass and Forage Science*. 54: 52-61.
67. MAS, C. 2007. Algunos aportes conceptuales y técnicos a la discusión del riego de pasturas con especial referencia a la rotación arroz-ganadería. In: Seminario de Discusión Técnica Importancia del Agua en el Actual Escenario Agrícola (1^{o.}, Paysandú, Uruguay). Posibilidades de aplicación de riego suplementario. Montevideo, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. s.p.
68. MATSUMOTO, E.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B.; BASTOS, J.F.P.; CINTRA, R. 2005. Efeitos da Irrigação e Adubação Nitrogenada sobre a Massa de Forragem de Cultivares de *Panicum máximum* Jacq. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34 (4): 1146-1155.

69. MISLEVY, P.; EVERETT, P.H. 1981. Subtropical grass response to different irrigation and harvest regimes. *Agronomy Journal*. 73: 601-604.
70. MISTURA, C.; MIRANDA, D.; DE MELO, L.; LARA, J.; VIEIRA, R.; DE QUEIROZ, A.C.; RIBEIRO, J.I. 2007. Efeito da adubação nitrogenada e irrigação sobre a composição químico-bromatológica das lâminas foliares e da planta inteira de capim-elefante sob pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36 (6): 1707-1714.
71. MONSON, R.K. 1989. On the evolutionary pathways resulting in C4 photosynthesis and crassulacean acid metabolism. *Advances in Ecological Research*. 19: 57-112.
72. NEAL, J.S.; FULKERSON, W.J.; SUTTON, B.G. 2011. Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Irrigation Science*. 29 (3): 213-232.
73. NELSON, D.L.; COX, M.M. 2001. *Lehninger; principios de Bioquímica*. 3ª. ed. Barcelona, Omega. 1296 p.
74. NIPPERT, J.B.; KNAPP, A.K. 2007. Linking water uptake with rooting patterns in grassland species. *Oecología*. 153 (2): 261-272.
75. PARRY, F.J.; MCKENZIE, B.A.; LUCAS, R.J. 1992. Productivity and water use of five pasture grasses in Canterbury. *New Zealand Grassland Association*. 54: 135-138.
76. PERRY, M.W. 1987. Water use efficiency of non-irrigated field crops. (en línea). In: Australian Agronomy Conference (4th., 1987, South Perth). Proceedings. Baron Hay, The Regional Institute. pp. 1-21. Consultado 8 ago. 2012. Disponible en <http://www.regional.org.au/au/asa/1987/invited/p-07.htm>
77. PIZZARRO, E.A. 2000. Potencial forrajero del género *Paspalum*. *Pasturas Tropicales*. 22 (1): 38-46.
78. RAWSON, H.M.; BAGGA, A.K.; BREMNER, P.M. 1977. Aspects of adaptation by wheat and barley to soil moisture deficits. *Australian Journal of Plant Physiology*. 4 (3): 389 – 401.

79. RECHCIGL, J.E.; MISLEVY, P.; ALVA, A.K. 1993. Influence of limestone and phosphogypsum on bahiagrass growth and development. Soil Science Society of America Journal. 57 (1): 96-102.
80. RIBEIRO, K.G.; GARCIA, R.; PEREIRA, O.G.; VALADARES, S.C.; CECON, P.R. 2001. Consumo e digestibilidades aparentes total e parcial, de nutrientes, em bovinos recebendo rações contendo feno de capim-tifton 85 de diferentes idades de rebrota. Revista Brasileira de Zootecnia. 30 (2): 573-580.
81. RIBEIRO, E.G.; DE ALENCAR, C.A.; BERGOTTINI, J.G.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; DA SILVA, R.C. 2009. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capim napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. Revista Brasileira de Zootecnia. 38 (8): 1432-1442.
82. RITCHIE, J.T. 1974. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. Agricultural Meteorology. 14: 183-198.
83. ROIG, C.A. 2004. Pasto elefante enano cultivar Mott. (en línea). Colonia Benitez, Chaco, Argentina, INTA. 5 p. Consultado 11 ago. 2011. Disponible en http://www.infogranjas.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1130%3Apasto-elefante-enano-cultivar-mott-&catid=304%3Apasturas-cultivadas&Itemid=157&lang=es
84. ROMERO, S.; TEIXEIRA, A.; COSTA, F.A.; MANHÃES, S.; DELGADO, E. 1975. Influência da irrigação e da adubação em dois cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum*). Pesquisa Agropecuária de Zootecnia. Serie Zootécnica. 10: 23-30.
85. ROSENGURTT, B. 1946. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay. 5a. contribución. Montevideo, Uruguay, Rosgal. 473 p.
86. _____; ARRILLAGA, M.B.; IZAGUIRRE, A. 1970. Gramíneas uruguayas. Montevideo, Universidad de la República. 490 p.
87. SIMOES, N.; MAÇÃS, I.D.; CARNEIRO, J.P.; DE SOUZA, M.M. 2008. Water use efficiency in grass species *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea*. Options Méditerranéennes. Serie A. 79: 349-352.

88. SINCLAIR, T.R.; MISLEVY, P.; RAY, J.D. 2001. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses. *Planta*. 213: 488-491.
89. SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. 1990. Tropical grasses. Rome, FAO. pp. 621-627 (FAO Plant Production and Protection Series no. 23).
90. SOLLEMBERGER, L.E.; PRINE, G.M.; OCUMPAUGH, W.R.; HANNA, W.W.; JONES, C.S.; SCHANK, S.C; KALMBACHER, R.S. 1989. Registration of "Mott" dwarf elephantgrass. *Crop Science*. 29 (3): 827-828.
91. TAYLOR, S.H.; HULME, S.P.; RESS, M.; RIPLEY, B.S.; WOODWARD, F.I.; OSBORNE, C.P. 2010. Ecophysiological traits in C3 and C4 grasses; a phylogenetically controlled screening experiment. *New Phytologist*. 185: 780-791.
92. TEIXEIRA, C.M.; MIRANDA, D.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; DO NACIMENTO, D.; RIBEIRO, J.I. 2009. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38 (3): 435-442.
93. VITKAUSKAITE, G.; VENSKAITYTE, L. 2011. Differences between C3 (*Hordeum vulgare* L.) and C4 (*Panicum miliaceum* L.) plants with respect to their resistance to water deficit. *Zemdirbyste = Agriculture*. 98 (4): 349-356.
94. VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; COSER, A.C. 2009. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38 (3): 435-442.
95. WALDRON, B.L.; ASAY, K.H.; JENSEN, K.B. 2002. Stability and yield of cool-season pasture grass species grown at five irrigation levels. *Crop Science*. 42: 890-896.