

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN ESTACIONAL DE *Festuca arundinacea*, *Lotus pedunculatus*, *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO

por

Santiago GUTIÉRREZ INTHAMOUSSOU

Lucas RICHARD CORREA

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2021

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Álvaro Otero

Ing. Agr. Claudio García

Ing. Agr. Sylvia Saldanha

Ing. Agr. Daniel Formoso

Fecha: 20 de abril de 2021

Autores:

Santiago Gutiérrez Inthamoussou

Lucas Richard Correa

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Ing. Agr. Álvaro Otero, por el apoyo brindado y por hacer posible esta tesis.

A la Ing. Agr. Sylvia Saldanha y el Ing. Agr. Claudio García por su dedicación y disposición.

Al personal de INIA Salto Grande y Establecimiento El Junco por facilitarnos las instalaciones y los materiales utilizados.

A nuestra familia y amigos por acompañarnos en este proceso de formación.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	1
1.1.2. <u>Objetivo específico</u>	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. EL RIEGO EN URUGUAY	3
2.1.1. <u>Disponibilidad de agua</u>	5
2.1.1.1 Agua superficial	5
2.1.1.2. Agua subterránea.....	5
2.1.2. <u>Estrategias de promoción del riego</u>	5
2.2. MÉTODOS DE RIEGO	6
2.2.1. <u>Riego por superficie</u>	8
2.2.2. <u>Riego por fajas</u>	8
2.3. PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA	10
2.3.1. <u>Evapotranspiración</u>	11
2.3.2. <u>Coeficiente simple del cultivo Kc</u>	11
2.3.2.1. Evolución del coeficiente simple del cultivo (Kc).....	12
2.3.2.2. Curva de crecimiento para cultivos forrajeros	13
2.4. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES Y CULTIVARES	14
2.4.1. <u>Lotus pedunculatus cv. Maku</u>	14
2.4.2. <u>Festuca arundinacea cv. Aurora</u>	15
2.4.3. <u>Paspalum dilatatum cv. Estanzuela-Chirú</u>	16
2.4.4. <u>Paspalum notatum cv. INIA Sepé</u>	18
2.5. RESPUESTA AL RIEGO DE ESPECIES FORRAJERAS	19
2.5.1. <u>Respuesta al riego en Lotus pedunculatus cv. Maku</u>	20
2.5.2. <u>Respuesta al riego en Festuca arundinacea</u>	20
2.5.3. <u>Respuesta al riego en el género Paspalum</u>	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO	23
3.1.1. <u>Ubicación y duración del período experimental</u>	23
3.1.2. <u>Descripción del sitio de evaluación</u>	23
3.1.3. <u>Fecha de siembra de las pasturas</u>	24
3.1.4. <u>Fertilización</u>	24
3.1.5. <u>Control de malezas plagas y enfermedades</u>	24

3.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	24
3.2.1. <u>Mediciones con corte dentro de las jaulas</u>	25
3.2.2. <u>Mediciones de índice de área foliar y composición botánica</u>	26
3.2.3. <u>Mediciones dentro de las jaulas entre las fechas de corte</u>	26
3.2.4. <u>Manejo del riego</u>	26
3.2.5. <u>Criterio de riego</u>	27
3.2.6. <u>Temporada de riego</u>	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN	29
4.1.1. <u>Temperatura</u>	29
4.1.2. <u>Precipitaciones</u>	31
4.1.3. <u>Evapotranspiración</u>	32
4.1.5. <u>Balance hídrico climático</u>	33
4.2. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO	34
4.3. COMPOSICIÓN BOTÁNICA	35
4.3.1. <u>Composición botánica en <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku</u>	36
4.3.2. <u>Composición botánica en <i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora</u>	36
4.3.3. <u>Composición botánica en <i>Paspalum dilatatum</i> cv. Chirú</u>	37
4.3.4. <u>Composición botánica en <i>Paspalum notatum</i> cv. INIA Sepé</u>	37
4.4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA	38
4.4.1. <u>Producción de materia seca acumulada</u>	40
4.5. TASA DE CRECIMIENTO	41
4.6. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)	42
4.6.1. <u>Evolución del IAF en <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku</u>	43
4.6.2. <u>Evolución del IAF en <i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora</u>	44
4.6.3. <u>Evolución del IAF en <i>Paspalum dilatatum</i> cv. Estanzuela-Chirú</u>	45
4.6.4. <u>Evolución del IAF en <i>Paspalum notatum</i> cv. INIA Sepé</u>	46
4.7. EVOLUCIÓN DEL IAF ENTRE CORTES	46
4.7.1. <u>Relación entre el coeficiente simple del cultivo (Kc) y IAF</u>	47
4.8. INTERACCIONES ENTRE VARIABLES	48
4.8.1. <u>Relación entre la materia seca (MS) y la altura (cm)</u>	48
4.8.2. <u>Relación entre la biomasa (MS) y el índice de área foliar</u>	51
4.8.3. <u>Relación entre el índice de área foliar y la altura de la pastura</u>	54
5. CONCLUSIONES	57
6. RESUMEN	58
7. SUMMARY	59
8. BIBLIOGRAFÍA	60
9. ANEXOS	67

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Superficie total y con riego por rubro y/o cultivo	4
2. Factores que favorecen la elección del método de riego.....	7
3. Producción de forraje (MS.Kg. ha-1) total con riego para <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku en diferentes zonas del país	20
4. Producción media de forraje de festuca en respuesta al riego y a la fertilización nitrogenada en el período 2007-2008.....	21
5. Producción acumulada de láminas foliares (MS.kg. ha-1) bajo tres tratamientos de riego	22
6. Fechas de riego, lámina de riego aplicada total (mm) y lámina de riego promedio aplicada por parcela (mm).....	35
7. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku	36
8. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en <i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora	36
9. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en <i>Paspalum dilatatum</i> cv. Chirú	37
10. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en <i>Paspalum notatum</i> cv. INIA Sepé	37
11. Tasa de crecimiento (TCC) (kg MS.ha-1.d-1) de las distintas pasturas bajo riego y desvío estándar (DS) de las especies	41

12. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas bajo riego, para (Y) kg MS. ha-1 en función de (x) altura (cm)...	50
13. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas para la biomasa (kg MS. ha-1.) en función del índice de área foliar (IAF)	53
14. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas para el índice de área foliar (IAF) en función de la altura de la pastura	56

Figura No.

1. Diferentes formas de construir los bordos	9
2. Rangos típicos esperados del valor de Kc para las cuatro etapas de crecimiento	13
3. Curva de Kc para alfalfa destinada para heno	14
4. Evolución de la temperatura promedio mensual máxima y mínima del período de evaluación (2018-2019) y de la serie histórica (1970-2010)	30
5. Precipitación acumulada mensual del período de evaluación (2018-2019) y la serie histórica (1970-2010) para Salto	31
6. Evolución de la evapotranspiración promedio diaria de serie histórica 1970-2010, INIA Salto Grande y período experimental 2018-2019, El Junco, Salto	32
7. Evolución de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración de referencia acumulada mensual del período de evaluación (2018-2019)	33

8. Evolución del contenido de agua disponible en el suelo (mm) para las pasturas en evaluación	34
9. Producción promedio de biomasa (kg MS.ha-1) de las parcelas en cada período de corte.....	38
10. Producción de forraje acumulado bajo riego suplementario durante el período 18/12/2018 a 23/12/2019.....	40
11. Evolución del índice de área foliar promedio de <i>Lotus pedunculatus</i> , diciembre 2018 a diciembre 2019	43
12. Evolución del índice de área foliar promedio de <i>Festuca arundinacea</i> , diciembre 2018 a diciembre 2019	44
13. Evolución del índice de área foliar promedio de <i>Paspalum dilatatum</i> , diciembre 2018 a diciembre 2019	45
14. Evolución del índice de área foliar promedio en <i>Paspalum notatum</i> , diciembre 2018 a diciembre 2019	46
15. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) de <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku bajo riego, en función de la altura (cm) ..	48
16. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) de <i>Paspalum notatum</i> bajo riego, en función de la altura (cm)	49
17. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) de <i>Paspalum dilatatum</i> bajo riego, en función de la altura (cm)....	49
18. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) de <i>Festuca arundinacea</i> bajo riego, en función de la altura (cm) ..	50
19. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) en función del índice de area foliar, para <i>Festuca arundinacea</i>	51

20. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) en función del índice de área foliar, para <i>Paspalum dilatatum</i>	52
21. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) en función del índice de área foliar, para <i>Paspalum notatum</i>	52
22. Relación entre la materia seca (kg MS. ha-1) en función del índice de área foliar, para <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku	53
23. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para <i>Lotus pedunculatus</i> cv. Maku bajo riego	54
24. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para <i>Festuca arundinacea</i> bajo riego	55
25. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para <i>Paspalum dilatatum</i> bajo riego	55
26. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para <i>Paspalum notatum</i> bajo riego	56

1. INTRODUCCIÓN

El campo natural es la base forrajera de la ganadería en el Uruguay, el cual presenta limitantes estacionales afectando la producción de carne. Esto dio el paso a nuevas opciones tecnológicas para el mejoramiento de las pasturas naturales, como la siembra de especies de alto valor nutritivo y la incorporación de riego. Para el año agrícola 2015/2016 se estimó que el 17,8% de la superficie de pastoreo corresponde a pasturas mejoradas (MGAP. DIEA, 2017).

Uruguay se caracteriza climáticamente por presentar alta variabilidad interanual de precipitaciones, con valores promedios de entre 80 y 100 mm mensuales, este promedio puede variar dependiendo de la estación (INIA, 2019). Con períodos de déficit hídrico en los meses de verano, provocado por aumentos en la tasa de evapotranspiración.

Las condiciones climáticas principalmente estivales predisponen a las especies con metabolismo C3, a condiciones de estrés que condicionan la respuesta fisiológica y morfológica de las especies.

Los suelos logran almacenar en promedio 60-180 mm de agua disponible según Molino y Califra (2001), lo que representa aproximadamente el 50% de las necesidades hídricas mensuales de las especies forrajeras, según la época del año.

La combinación entre las condiciones climáticas y la capacidad de almacenaje de agua en el suelo comprometen tanto la producción como la persistencia de las especies sembradas. Para la corrección de estas deficiencias se implementan riegos estratégicos que permitan maximizar la producción de materia seca estival y/o lograr un incremento en la persistencia de las pasturas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

El presente trabajo tiene como objetivo general, evaluar el comportamiento productivo estacional de cuatro pasturas bajo riego en la zona de basalto profundo (Salto).

1.1.2. Objetivo específico

Como objetivo específico consta en evaluar la evolución de diferentes variables de las pasturas como biomasa, IAF, altura y composición botánica.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL RIEGO EN URUGUAY

Las condiciones que presentan los países que han adaptado y desarrollado en gran medida el riego son generalmente zonas áridas y semiáridas, sumado a esto las precipitaciones determinan que la producción vegetal sea inviable sin la implementación de riego continuo (Giménez, 2012).

Las particularidades climáticas (temperatura, precipitación) de Uruguay no son una limitante para la producción de las pasturas, por lo que no es estrictamente necesario la aplicación de tecnologías de riego. Lo que se busca regando es corregir deficiencias puntuales en el año como por ejemplo en verano donde el agua del suelo no logra satisfacer las demandas de los cultivos y pasturas (Giménez, 2012).

La experiencia histórica de Uruguay en agricultura regada se basa fundamentalmente en la producción del arroz, que representa el 76% del área regada nacional (184.000 ha de los 242.000 ha regadas, según datos de MGAP. DIEA, 2012).

Uruguay tiene superficies aptas para la agricultura regada, cuenta con suficiente agua disponible que le permitiría el acceso a una política de riego para desarrollar en forma sustantiva su producción agropecuaria y mitigar los posibles impactos de la variabilidad climática actual. Además del arroz con riego integral, los sistemas productivos más probables de integrar al riego suplementario son los cultivos de cereales y oleaginosos de verano, la ganadería de leche y la ganadería de carne (MGAP, 2015).

El riego y drenaje son factores determinantes en los rendimientos obtenidos tanto en granos como en pasturas y generaría una oportunidad para lograr el potencial productivo de las pasturas, reduciendo el impacto de la deficiencia hídrica en períodos estratégicos del crecimiento del cultivo (Giménez, 2012).

El riego genera una respuesta positiva en la estabilidad de la producción en relación con las variaciones climáticas. En la época de verano, en enero y febrero, se produce una disminución en la disponibilidad de agua en los suelos en relación a la demanda hídrica de los cultivos y las pasturas. A esto se suma la alta variabilidad de las lluvias en verano, característica de todas las regiones del Uruguay. Esta variabilidad climática, junto a la baja capacidad de almacenamiento de agua de los suelos en relación a la demanda de los cultivos, ocasiona deficiencias hídricas de diferente extensión e intensidad. El riego suplementario en cultivos y pasturas puede presentarse como una herramienta para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción, como también para alcanzar rendimientos potenciales de granos y forrajes, mejorando la eficiencia en el uso del agua de todo el sistema productivo (MGAP, 2015).

La incorporación del riego en la producción agrícola permite aliviar el efecto negativo de los factores climáticos adversos que limitan cada vez más los rendimientos obtenidos en este sector productivo. Debido a la mayor utilización de esta tecnología, MGAP. DIEA consideró relevar la información de su implementación, tanto en la actividad agrícola, como de pastoreo.

MGAP. DIEA (2012) registró que se regaron para la zafra 2010/11 un total de 250.980 ha entre ellos montes frutales, vid, cultivos hortícolas cereales e industriales, cultivos forrajeros, praderas y siembras en cobertura.

Cuadro No. 1. Superficie total y con riego por rubro y/o cultivo

Rubro o cultivo	Superficie total (ha)	Superficie bajo riego (ha)	% de la superficie regada total	% superficie total del cultivo
Cultivos cerealeros e industriales	1.947.025	201.283	80,2	10,3
Praderas permanentes	958.688	11.490	4,6	1,2
Forrajeros anuales	675.322	8.232	3,3	1,2
Montes frutales + horticultura	57.243	29.975	11,9	52,3
Total	3.638.278	250.980	100	6,9

Fuente: MGAP. DIEA (2012).

Las pasturas permanentes y anuales vinculadas principalmente al rubro ganadero y lechero registraron 19.722 ha (11.490 ha praderas permanentes) regadas representando el 1,2% del total sembrado de estos cultivos. El arroz, la caña de azúcar y la horticultura protegida para las condiciones del país solo se pueden realizar bajo riego, por lo que el total de su área es regada. En la zafra 2016/17 se observó una disminución del área total de riego en un 6%, explicado principalmente por la menor área de arroz sembrado (Arane et al., 2018).

2.1.1. Disponibilidad de agua

2.1.1.1 Agua superficial

Uruguay se caracteriza por poseer un clima lluvioso de gran variabilidad interanual, estas características hacen que para una misma localidad se registren meses de precipitación nula hasta lluvias que alcanzan el 50% de los registros anuales (Failde et al., 2013).

Se estima que el 40% de las precipitaciones terminan en los cursos fluviales y el restante 60% es utilizado por la vegetación, se pierde por evapotranspiración, se infiltra en profundidad y recarga de acuíferos. Debido a las características de las lluvias y el escurrimiento, la extracción directa desde cursos naturales puede ser limitada en los períodos de lluvia deficiente, por lo que se limita la extracción directa superficial de una cuenca a $0.4 \text{ l. s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ que corresponde a un caudal de estiaje por un período de 10 días con una frecuencia de una vez cada diez años. Si la demanda es superior deberá ser cubierta por perforaciones o reservas (Failde et al., 2013).

Se debe considerar que el escurrimiento anual es de $520000 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ considerando que el caudal límite permitido es de $12600 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0.4 \text{ l. s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) la mayor parte del excedente anual no estará disponible para riego (Failde et al., 2013).

2.1.1.2. Agua subterránea

El agua subterránea corresponde al agua reservada en acuíferos. Los principales reservorios detectados en Uruguay se clasifican en dos tipos: poroso o fisurado. Los dos acuíferos que presentan mayor uso desde el punto de vista agropecuario son el Acuífero Raigón y el Acuífero Salto (Failde et al., 2013).

El Acuífero Raigón está ubicado en el departamento de San José, tiene una superficie de 1800 km^2 y ofrece caudales de $20\text{-}30 \text{ m}^3 \cdot \text{hora}^{-1}$ a profundidades de 30-40 metros, mientras que el Acuífero Salto ofrece caudales de $8,8 \text{ m}^3 \cdot \text{hora}^{-1}$ a profundidades de 45 metros. El Acuífero Guaraní debido a su profundidad de 1000 metros limita su uso para riego (Failde et al., 2013).

2.1.2. Estrategias de promoción del riego

Para fomentar el desarrollo del riego con destino productivo, en 2015 se presentó el plan estratégico por parte de MGAP: “Estrategias de fomento del desarrollo del riego” con el apoyo del Banco Mundial. A partir de este trabajo, comenzaron unas series de actividades entre las que se destacan: a) la elaboración de una consultoría de cuencas con

el objetivo de analizar el potencial de desarrollo del riego sobre tres cuencas (Arapey, Yi y San Salvador), b) capacitación y formación de los técnicos que trabajaran en esta área y relevamiento de la formación existente, implementar jornadas destinadas a productores denominadas “Jornadas de introducción al riego”, y c) modificación de la Ley de riego, principalmente en tres aspectos 1) promover proyectos de tipo asociativo o multipredial 2) promover obras con inversión privada o público-privado con el objetivo de brindar más seguridad y orden, y 3) mejorar procesos de autorización de tipo ambiental (MGAP. OPYPA, 2016).

Los requisitos para el otorgamiento de concesiones según la Ley No. 19553 riego con destino agrario serán:

1) *“Que exista agua disponible en cantidad y calidad, acorde con lo que establezca el Poder Ejecutivo; el cual podrá reservar un porcentaje del volumen disponible para otros usos o fines en forma adicional al caudal ambiental que se establezca en la reglamentación de la presente ley”.*

2) *“Que el solicitante cuente con un plan de uso de suelos y de aguas aprobado por el Ministerio competente de acuerdo a lo establecido por las Leyes Nos. 16.466, de 19 de enero de 1994, y 18.610, de 2 de octubre de 2009, y demás normas concordantes, así como la reglamentación de la presente ley”.*

3) *“Que el solicitante acredite ser titular de un derecho de propiedad, usufructo o goce de los suelos donde se asienten las obras hidráulicas o sean afectadas por ellas”.*

2.2. MÉTODOS DE RIEGO

Frecuentemente, en el hablar común sobre riego, se utilizan como sinónimos el método de riego y el sistema de riego, lo cual no es exactamente correcto. El método de riego es el conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar agua a las parcelas regadas y mientras que el sistema de riego es el conjunto de equipamientos y técnicas de aplicación de un método en particular (Pereira et al., 2010).

Los métodos de riego pueden clasificarse del siguiente modo (Pereira y Trout, citados por Pereira et al., 2010):

- Riego de superficie o por gravedad, que comprende el riego por inundación, en canchales tradicionales y surcos cortos o en canchales (arroz), el riego por infiltración en surcos o en fajas y el riego por escorrentía libre. En este método, el agua avanza sobre la superficie del suelo y va infiltrándose en el suelo, se le denomina riego por gravedad porque esta es la fuerza que actúa (García Petillo, 2012).

- Riego por aspersión, con sistemas estáticos y disposiciones en cuadrícula, fijas o móviles, con sistemas móviles de cañón o ala sobre carro tirada por enrollador o por cable, y sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal. Se aplica el agua en gotas simulando lluvia y se busca que se infiltre en el lugar que es aplicado y no exista escurrimiento (García Petillo, 2012).
- Riego localizado, comprende el riego por goteo, por difusores, por tubos perforados o porosos, la micro aspersión y el riego sub superficial por tubos perforados y tubos porosos. El agua es aplicada donde se desarrollan las raíces de la planta gracias a una red de tuberías que generalmente están enterradas, estos se consideran sistemas de cobertura total, las tuberías y los ramales están sobre el terreno durante todo el período vegetativo del cultivo, permanente si se trata de cultivos leñosos. Una de las principales ventajas de este método es la reducción tanto del consumo de agua como de los costos asociados al riego principalmente la mano de obra.
- Riego subterráneo, realizado por control de la profundidad de la capa freática.

En el siguiente cuadro se enumeran los factores que favorecen la elección del método de riego.

Cuadro No. 2. Factores que favorecen la elección del método de riego

Factores	Riego por superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad de agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Costo de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Costo de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

Fuente: Pereira y Trout, citados por Pereira et al. (2010).

2.2.1. Riego por superficie

El riego por superficie o gravedad continúa teniendo una gran importancia en el desarrollo del riego, corresponde al 80% de las áreas regadas en el mundo. Se considera el método más apropiado para suelos llanos y pesados y del punto de vista económico es más apropiado para muchos cultivos y sistemas de producción (Pereira et al., 2010).

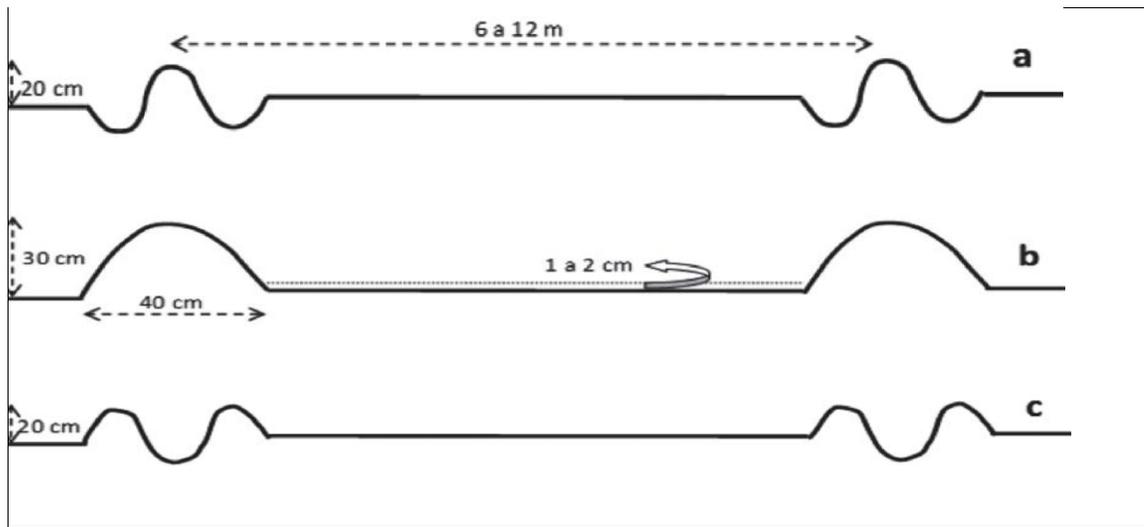
Existen diferentes sistemas de riego dentro de los métodos de riego por gravedad, que se corresponden con diferencias en el diseño de la aplicación del agua a las parcelas regadas. Resumiendo, estos métodos en sistemas con surcos, canteros, fajas, surcos a nivel y riego de esparcimiento. Los sistemas de surcos y fajas son llamados de infiltración debido a que se aplican caudales lo suficientemente grandes para que el agua fluya sobre el terreno, y, suficientemente pequeños para que el agua se vaya infiltrando mientras fluye. De esta forma cuando se corta el suministro de agua al surco o a la faja, ésta deja de estar sobre el terreno porque fue infiltrada al suelo (Pereira et al., 2010).

2.2.2. Riego por fajas

En el riego por fajas, el campo se divide en parcelas rectangulares estrechas y largas, rodeadas lateralmente por melgas, con pendiente suave donde el agua es aplicada y escurre a lo largo de su recorrido al mismo tiempo se va infiltrando (Pereira et al., 2010).

Se considera que la melga es una faja de terreno rectangular, que se ubica en el sentido de la máxima pendiente y es limitada en sus lados por bordos de tierra. En sentido transversal, entre los bordos, la pendiente debería ser cero. Estas, construcciones presentan detalles importantes en el diseño que pueden por sí mismo determinar el éxito o el fracaso de la operativa de riego (García Petillo et al., 2014).

La forma más adecuada de construir los bordos es utilizando una hoja de nivelación, un land-plane o una moto niveladora. En este caso se traslada una delgada capa de suelo de todo el ancho de la melga para construir los bordos, no quedando en este caso ningún surco. La compactación se hace con un rodillo compactador (García Petillo et al., 2014).



a) Con alomador de discos o rejas, b) con hoja de nivelación, land-plane o motoniveladora, c) con surcador de un cuerpo

Figura No. 1. Diferentes formas de construir los bordos

Fuente: García Petillo et al. (2014).

La faja se usa en cultivos densos tales como cereales cultivos forrajeros y praderas, este método se adapta a terrenos de pendiente suave, menor o igual a 0.5%, con infiltración media a baja, altas tasas de aplicación de agua, permitiendo así tener melgas largas de 100 a 200 m que son más prácticas en el campo (Pereira et al., 2010).

Con los caudales utilizados se pretende que el agua avance lentamente para irse infiltrando y, por lo tanto, se va esparciendo uniformemente en todo lo ancho de la faja, escurriendo en forma de lámina debe ser capaz de vencer el rozamiento provocado por el suelo y las plantas que crecen en él, además de esto los caudales no deben ser erosivos, sobre todo cuando el riego se hace sobre suelo desnudo. Los caudales se sitúan frecuentemente en el intervalo de 1.5 a $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (Pereira et al., 2010).

El ancho de las fajas depende principalmente del cultivo. En cereales y forrajeras, la anchura varía entre 5 y 60 m, dependiendo de los caudales disponibles y la pendiente transversal, la diferencia de nivel entre ambos lados debe ser menor a 30% de la altura de la lámina de escurrimiento para que el agua se esparza bien a través de la faja (Pereira et al., 2010).

La longitud de las fajas, como la de los surcos, depende de la capacidad de infiltración del suelo, de la pendiente y del caudal disponible, generalmente se sitúan entre

100 y 200 m pudiendo alcanzar 400 m cuando la infiltración es pequeña y los caudales relativamente elevados (Pereira et al., 2010).

2.3. PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA

En Uruguay, cuando se habla del potencial de los sistemas de producción agropecuarios, se observa la alta dependencia que presentan con el régimen de precipitaciones y su variabilidad. A lo largo del verano, en situaciones promedio la disponibilidad de agua en los suelos no satisface la demanda hídrica de los cultivos y las pasturas (Sawchik, 2012).

De esta manera se comprueban frecuentemente los impactos negativos que sufre la producción de cultivos anuales y perennes. Donde la capacidad de almacenaje de los suelos oscila entre 60-180 mm de agua disponible (Molfino y Califra, 2001), esto representa en el mejor de los casos aproximadamente el 50% de aporte para la persistencia y/o producción de materia seca en cantidad y calidad de algunas forrajeras utilizadas en los sistemas de producción (Sawchik et al., 2010). De acuerdo con esto, se puede decir que existe una alta dependencia de la recarga hídrica por precipitaciones y/o riego para satisfacer las demandas de cultivos y pasturas (Sawchik, 2012).

Ante un escenario de alta intensificación productiva que se observa en los sistemas de producción, es necesario emplear herramientas que potencien y den estabilidad. El riego suplementario puede ser una estrategia viable para potenciar áreas de producción, siempre que se levanten limitantes tecnológicas del manejo de los cultivos y las pasturas y se utilicen herramientas adecuadas para la programación del riego (Sawchik, 2012).

El consumo de agua por parte del cultivo está determinado principalmente por la demanda atmosférica y la disponibilidad de agua en el suelo. La evapotranspiración puede ser medida directamente (lisímetros, torres Eddy Covariance) o ser estimada a partir de modelos en base a registros climáticos y parámetros vegetales, siendo la propuesta por Penman-Monteith (Allen et al., 1998), la más utilizada universalmente. Para estimar las necesidades de agua del cultivo bajo riego (ET_c), por el procedimiento descrito por Allen et al. (1998), se calcula primero la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o , habitualmente alfalfa o una pastura) multiplicado por diferentes coeficientes de ajustes de acuerdo al cultivo y etapa fenológica (K_{cb}), a la evaporación directa del suelo (K_e) y la disponibilidad de agua en el suelo (K_s). De la siguiente forma: $ET_c = ET_o \cdot (K_{cb} \cdot K_s \cdot K_e)$.

2.3.1. Evapotranspiración

Los valores medios de evapotranspiración acumulada anual, estimada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), se sitúan entre 1000 y 1200 milímetros (mm), con los menores valores situados al Sureste y los máximos al Noroeste de Uruguay. El gradiente cardinal de la ETo es incremental, de Sureste a Noroeste. La evapotranspiración (Penman-Monteith-FAO-56) presenta un claro comportamiento estacional registrándose los valores más altos durante el verano (160-185 mm.mes⁻¹), seguido de la primavera (95-105 mm.mes⁻¹), el otoño (65-80 mm.mes⁻¹) y el invierno con 25-35 mm.mes⁻¹. En cuanto al comportamiento histórico se destaca una baja variabilidad interanual, la cual es un poco más alta durante el verano con 40 a 50 mm de diferencia entre los extremos y baja en invierno con 10 mm de diferencia entre los extremos (Castaño et al., 2011).

Según Allen et al. (1998) se denomina evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos: la evaporación que representa el agua que fluye directamente a través de la superficie del suelo y la transpiración del cultivo. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros por unidad de tiempo, que es la cantidad de agua emitida a la atmósfera por unidad de superficie y por tiempo.

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia (ETo), sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo, siendo la superficie de referencia un cultivo hipotético de pasto con características específicas (Allen et al., 1998).

Evapotranspiración del cultivo en particular bajo condiciones estándar (ETc). Este término se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (Allen et al., 1998).

2.3.2. Coefficiente simple del cultivo Kc

El coeficiente simple del cultivo (Kc) relaciona la evapotranspiración, entre el cultivo que se quiere regar y del cultivo de referencia (alfalfa o pastura). De tal forma que $ETc/ETo = Kc$ (Allen et al., 1998).

La metodología utilizada por FAO para determinar el Kc implica dividir el ciclo en cuatro etapas fenológicas. Estas etapas deben ser definidas por un técnico con conocimiento sobre los cultivares. Para cada cultivo se definen así un Kc inicial, Kc medio y Kc final (García Petillo, 2012).

2.3.2.1. Evolución del coeficiente simple del cultivo (K_c)

La evolución del K_c a lo largo del período de crecimiento de un cultivo representa los cambios en el crecimiento del cultivo (cobertura, IAF) en relación al cultivo de referencia y afectarán la relación entre el cociente ET_c/ET_o (Allen et al., 1998).

El índice de área foliar óptimo es definido como el IAF que logra interceptar el 95% de la radiación solar incidente y donde el crecimiento foliar pasa a ser lineal Brougham, citado por Bordaberry et al. (2017). Según Carámbula (1997), esta relación depende de la especie, siendo mayor en gramíneas que en leguminosas.

De acuerdo con Black, citado por Velasco-Zebadúa et al. (2002), el índice de área foliar óptimo presenta valores más altos en primavera y verano cuando la intensidad de la luz y la temperatura son mayores, en la primavera por las mejores condiciones climáticas especialmente de la temperatura las hojas se expanden más rápido y son más largas.

Durante el desarrollo del cultivo, el área del suelo cubierta por vegetación, la altura y el área foliar variarán progresivamente. Como, consecuencia de la variación de estos componentes durante el ciclo del cultivo el valor del K_c también variará acompañando el período de crecimiento.

El crecimiento del cultivo consta de cuatro etapas según Allen et al. (1998):

1) La etapa inicial que va desde la siembra hasta que el cultivo logra un 10% de cobertura del suelo, los factores que determinan la longitud de esta etapa son tipo de cultivo, variedad, fecha de siembra y clima. Durante esta etapa el área foliar es baja y la evapotranspiración se debe principalmente a la evaporación del suelo.

2) Etapa de desarrollo del cultivo, se ubica desde 10% de cobertura del suelo hasta lograr cobertura efectiva completa la que generalmente se da al inicio de la floración, o cuando el índice de área foliar (IAF) llega a tres.

3) Etapa media, comprende el período desde cobertura total hasta comienzo de madurez, que está indicado generalmente por el inicio de la decoloración y senescencia, durante esta etapa el K_c alcanza su valor máximo siendo durante esta etapa relativamente constante.

4) La etapa final de crecimiento comienza en la madurez hasta el momento de cosecha o la senescencia completa.

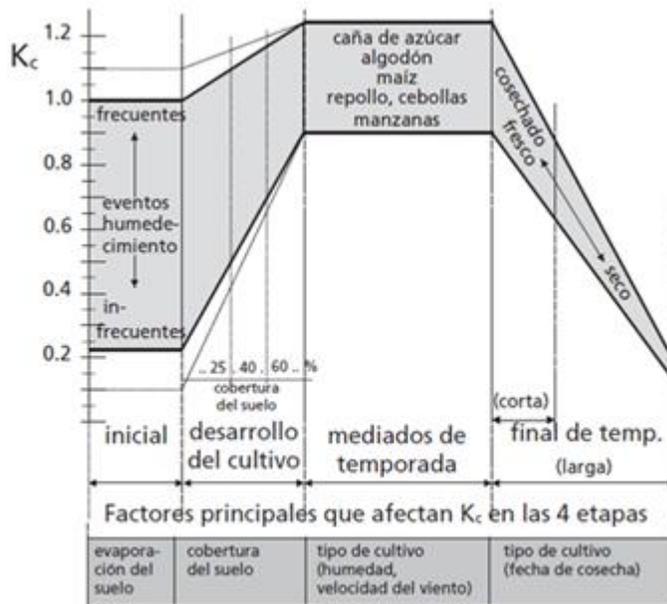


Figura No. 2. Rangos típicos esperados del valor de K_c para las cuatro etapas de crecimiento

Fuente: Allen et al. (1998).

2.3.2.2. Curva de crecimiento para cultivos forrajeros

Los cultivos que son destinados a forraje o heno son cosechados varias veces durante su ciclo de vida. Se considera que en cada cosecha finaliza un periodo de crecimiento, por lo que se obtendrían varios periodos de crecimiento dentro del ciclo del cultivo determinadas por el pastoreo.

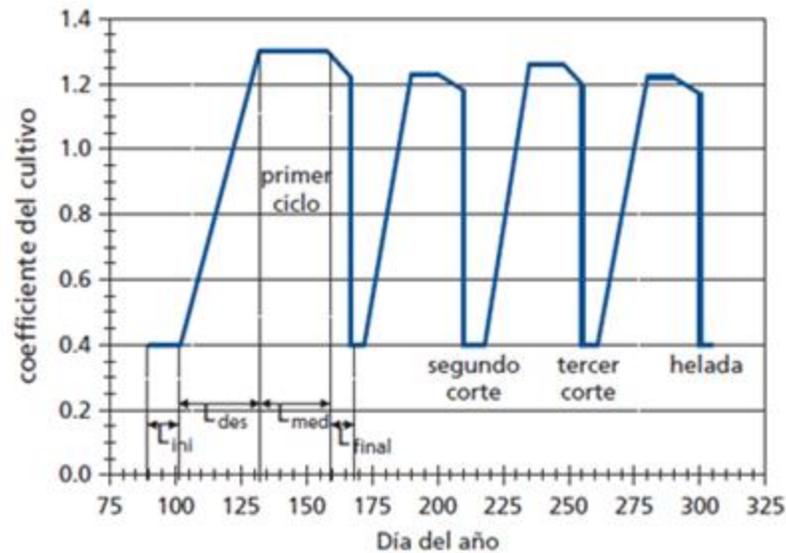


Figura No. 3. Curva de Kc para alfalfa destinada para heno

Fuente: Allen et al. (1998).

2.4. CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES Y CULTIVARES

2.4.1. *Lotus pedunculatus* cv. Maku

Lotus pedunculatus = *Lotus uliginosus* = *Lotus major* es una leguminosa perenne que ha demostrado adaptarse muy bien a las condiciones ecológicas del país, integrándose a la vegetación nativa sin dificultades (Carámbula et al., 1994).

Lotus pedunculatus cv Maku, es un cultivar tetraploide creado en Nueva Zelanda. Mediante cruzamiento de materiales seleccionados de ese país, con una línea portuguesa de buen crecimiento invernal (Kaiser y Heath, 1990). Se adapta bien a suelos ácidos, perenne, con hábito semiprostrado, rizomatoso, con floración indeterminada y baja producción de semillas (Pinto y Rodríguez, 1989).

Las plantas presentan un sistema subterráneo extenso que consta de una corona primaria central y una raíz pivotante, cuenta también con una importante red de rizomas, estolones y raíces fibrosas. Dicha red le otorga a esta especie una muy buena habilidad colonizadora y estabilizadora de los suelos (Carámbula et al., 1994).

Los estudios realizados muestran su alta capacidad productiva, con una destacada contribución invernal, la que la convierte en material promisorio para resolver el problema forrajero nacional (Carámbula et al., 1994).

La siembra de esta leguminosa debe realizarse temprano en el otoño, una vez que se asegure una adecuada humedad en el suelo, aprovechando así las condiciones climáticas favorables para el desarrollo y nodulación de las plántulas que se dan en esta estación (Carámbula et al., 1994).

Carámbula et al. (1994), indican que la viabilidad del uso de cv. Maku para mejoramientos de campo en el país depende en gran medida de la posibilidad de disminuir sus costos de implantación.

Así, Ayala y Carámbula (1996), destacan según un estudio realizado durante tres años 1992 – 1994, que la producción de cv. Maku varía notoriamente con el tipo de suelo, pero sin embargo la producción de forraje es superior a otros tipos de lotus evaluados. Diferentes autores mencionan para distintas zonas del país producciones de forrajes variables de mejoramientos en base a *Lotus uliginosus* cv. Maku.

Lotus sp. es la leguminosa que continúa siendo recomendada para mejoramientos extensivos de Basalto dada sus características de producción anual y estacional, menores requerimientos de fósforo en relación a trébol blanco y trébol rojo, aportando en el aumento en la calidad de la pastura (Bemhaja, 1998b), y ausencia en riesgo de meteorismo dada su concentración de sustancias secundarias, taninos condensados (Montossi, 1994).

Según un estudio realizado en la región basáltica por Bemhaja (1998a) destaca que cv Maku se establece lentamente y en el segundo año cubre totalmente el área sembrada minimizando en el tercer año a las gramíneas nativas. *Lotus pedunculatus* a partir del 3er. año sobresale por su persistencia y producción (Bemhaja, 1996).

En relación al riego Sawchik (2012) señala que el riego suplementario es una herramienta que reduce el efecto del déficit hídrico como factor limitante del potencial productivo de especies y cultivares utilizados como forrajeras. Esta herramienta genera una estabilización de la producción de forraje.

La producción de cv. Maku bajo riego es aproximadamente un 74% superior a la productividad de mejoramientos de campo con esta leguminosa (Formoso y Colucci, 2008).

2.4.2. *Festuca arundinacea* cv. Aurora

Festuca es una gramínea perenne invernal de crecimiento cespitoso rizomatoso que se adapta a un amplio rango de suelos, teniendo mejor crecimiento en suelos medios a pesados, pero tolerando suelos ácidos y alcalinos (Carámbula, 2002).

Debido a que sus plántulas son poco vigorosas se enlentece la implantación lo que permite que sean rápidamente dominadas por especies anuales de crecimiento rápido (Cowan, citado por Carámbula, 2002).

El manejo de la fertilización y la defoliación son dos aspectos que determinan la productividad de esta especie, para esto se necesita un importante aporte de nitrógeno ya sea por fertilización o siembra de leguminosas asociadas (Carámbula, 2002).

En cuanto a la defoliación la festuca admite defoliaciones intensas y relativamente frecuentes por su capacidad de almacenar sustancias de reserva en raíz y rizomas cortos además de presentar alta área foliar remanente luego de pastoreo (MacKee, citado por Carámbula, 2002).

La baja capacidad de acumular grandes volúmenes de reservas y la ausencia de latencia estival comprometen la productividad y la persistencia bajo pastoreos excesivos por esta razón se recomiendan ciertos períodos de descanso que favorezcan el comportamiento de la especie (López et al., citados por Carámbula, 2002).

En verano la humedad del suelo es el factor que condiciona más el crecimiento, por encima de las altas temperaturas, por lo que si en esta época se mantiene sin deficiencias hídricas podrá mantener tejido verde, cabe destacar que una ventaja es que posee sistema radicular fibroso, profundo y extendido lo que le permite obtener agua de horizontes profundos (Carámbula, 2002).

El cultivar INIA Aurora fue obtenido en La Estanzuela luego de tres ciclos de selección sobre diversos materiales de producción temprana, con énfasis en rendimiento y sanidad foliar (Ayala et al., 2010).

Este cultivar se caracteriza por ser de floración muy temprana (fines de agosto), de hábito intermedio más flexible que Estanzuela Tacuabé, otra característica importante que presenta es la rápida implantación y la alta producción de forraje durante todo el año superando a Estanzuela Tacuabé en un 7%, también es de destacar su muy buena persistencia (Ayala et al., 2010).

INIA Aurora es recomendada como componente de pasturas perennes en las que se busca tener producción todo el año por su rusticidad y persistencia, el buen comportamiento frente a enfermedades le permite obtener una alta palatabilidad del forraje, siendo ideal para explotaciones intensivas que aprovechen el gran potencial de rendimiento (Ayala et al., 2010).

2.4.3. *Paspalum dilatatum* cv. Estanzuela-Chirú

Paspalum dilatatum es una gramínea autóctona muy común en pasturas de la región, es de hábito de vida perenne y ciclo productivo estival comenzando en octubre hasta mayo donde las heladas retardan su desarrollo (Carámbula, 2002).

Esta especie se adapta bien a condiciones edáficas y a un rango amplio de condiciones del suelo, presenta tolerancia a la humedad excesiva y al mismo tiempo resiste sequías moderadas (Rosengurtt, citado por Carámbula, 1977), esto se debe en parte a su extenso y profundo sistema radicular (Judd, citado por Pizarro, 2002).

El período de producción de forraje es desde octubre hasta mayo, la floración de noviembre hasta principios de otoño y sazón de diciembre hasta mayo (Rosengurtt et al., 1970). Según García, citado por Carámbula (2002), uno de sus inconvenientes principales es el bajo porcentaje que presenta de semillas llenas, esto se debe al bajo porcentaje de germinación, relacionado al ataque producido por el hongo *Claviceps paspali* y a las condiciones ambientales durante la floración, la humedad en el suelo y el fotoperíodo son las variables más relacionadas con la producción de semilla.

La siembra puede ser en primavera o en otoño, demora varias semanas en germinar, aun en condiciones favorables el crecimiento inicial es bastante pobre, en estas condiciones las plántulas adquieren vigor a los cuatro meses (Carámbula, 2002). Sin embargo, presenta competencia con otras especies luego de implantada dada su capacidad alelopática (Tukey, Remison y Snaydon, Thom et al., citados por Pizarro, 2002).

Estas características hacen que no logre cubrir totalmente el suelo por lo que se recomienda en siembras asociadas utilizar densidades de siembra de 6-8 kg. ha⁻¹ en mezcla y 8-12 kg. ha⁻¹ en siembras puras (Carámbula, 2002).

El pastoreo debe ser frecuente e intenso para mantener la calidad de la pastura ya que resiste a la defoliación debido a que la gran mayoría de los rebrotes que se producen desde yemas están ubicadas por debajo del nivel del suelo (Carámbula, 2002).

Carámbula (2002), concluye que la morfología del *Paspalum* en relación a sus puntos de crecimiento, y la fisiología en relación a los órganos de reserva más importantes le permiten responder de buena manera a pastoreos severos sin comprometer los rebrotes.

Paspalum dilatatum cv. 'Estanzuela Chirú' es una variedad seleccionada en INIA La Estanzuela, presenta porte erecto, ciclo largo y muy productivo. Se propuso su evaluación como integrante de mezclas forrajeras para obtener pasturas de mayor producción estival y una vida útil más prolongada (Coll, 1991). Este cultivar se ha difundido muy bien en Uruguay, sin embargo, las evaluaciones agronómicas y comerciales carecen de información (Pizarro, 2002).

En un estudio realizado por Saldanha et al. (2017), donde la producción en emergencia pasado 10 días desde la siembra, cv. Chirú resultó ser el material con mayor producción inicial, presentando una producción diaria de 21 MS kg ha⁻¹d⁻¹, por lo que se puede considerar una alta tasa de crecimiento inicial aun cuando presenta un área foliar baja que no alcanzaba a cubrir el 100% del suelo.

Formoso (1983), Álvarez (1985), evaluaron el cultivar La Estanzuela Chirú, en dichos trabajos se alcanzaron producciones en el rango entre 8,6-12,2 y 9,5-12 t MS. ha⁻¹, correspondientemente.

2.4.4. *Paspalum notatum* cv. INIA Sepé

Paspalum notatum, también conocido como pasto horqueta, es una gramínea perenne estival. Esta especie es nativa y por esto es una de las gramíneas más frecuentes en los campos naturales de Uruguay. Es una gramínea agresiva, con un sistema radicular profundo que le permite adaptarse a suelos livianos y arenosos de baja fertilidad, también se adapta a suelos ácidos con presencia de aluminio (Pizarro, 2002). Según Ball et al., citados por Pizarro (2002), a pesar de que se adapta a suelos de baja fertilidad tiene una muy buena respuesta a el agregado de N y K.

Generalmente se utiliza para pastoreo, heno, control de erosión en taludes de vías y campos de recreación (Pizarro, 2002).

Arnold, Theron y Booyesen, Murray, citados por Pizarro (2002) coinciden en afirmar que las características del follaje, la resistencia al corte y el contenido de MS y proteína son los factores directamente relacionados con la aceptabilidad de *Paspalum notatum* por animales en pastoreo.

Flores et al., citados por Pizarro (2002), mencionan que *Paspalum notatum* y *Pennisetum purpureum* tienen características similares de consumo por animales y calidad de heno, la planta entera de *Paspalum notatum* alcanza valores de 59% de digestibilidad (Rodríguez et al., citados por Pizarro, 2002).

En cuanto a la producción animal, Sollenberger et al., citados por Pizarro (2002) encontraron relacionado a las praderas de esta especie que los animales ganan 380 g. día⁻¹ en trabajos de larga duración.

El cultivar INIA Sepé es un tetraploide de reproducción apomíctica. Presenta una gran capacidad colonizadora gracias a que dispone de una amplia red de rizomas cortos. Su producción forrajera puede variar desde 1500-2000 kg MS. ha⁻¹ en el año de implantación, y 6000 a 12000 kg MS. ha⁻¹ en los años siguientes, alcanzando los máximos en condiciones de alta humedad y fertilidad (INIA, 2019).

La tasa de crecimiento promedio de noviembre a abril es de 45 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, con máximos de 100 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹ en la segunda quincena de enero (INIA, 2019).

El valor nutritivo depende de varios factores como el forraje acumulado, la fertilización y estado fenológico, que en este cultivar varía entre 10-15% de proteína cruda y 52-65% de digestibilidad kg MS. ha⁻¹. d⁻¹ (INIA, 2019).

La fecha de siembra recomendada es noviembre (siembra pura), recomendando su siembra sobre tierra laboreada o siembra directa, con densidades en el entorno de los 10 a 12 kg. ha⁻¹. Este cultivar presenta muy buena adaptación a la gran mayoría de los suelos del Uruguay (Marangues et al., 2019).

Este cultivar es utilizado en sistemas de alta producción de forraje, pudiendo sembrarse puro o en mezcla con gramíneas o leguminosas templadas, para obtener mejores producciones estivo-otoñales, En siembras puras funciona como verdeo perenne de verano (Marangues et al., 2019).

2.5. RESPUESTA AL RIEGO DE ESPECIES FORRAJERAS

Con la aplicación de tecnologías de riego el agua ya no es más un factor limitante para la producción de forraje, de modo que la producción estacional dependerá de la disponibilidad de nutrientes y la aireación del suelo, el potencial genético de la planta, la radiación solar y la temperatura (Alencar et al., 2009).

La implementación del riego suplementario permite expresar el potencial productivo de las especies y cultivares forrajeras. Según Sawchik (2012), esta herramienta permite la estabilización de la producción forrajera, aumentando la persistencia y mejorando la calidad de las pasturas.

El estrés generado por falta de agua en las plantas puede ser el primer inhibidor de la producción de forraje durante los períodos de primavera, donde la temperatura se vuelve favorable para el crecimiento de las mismas (Mansfield et al., 1990).

Las especies de clima templado tipo C3 (gramíneas y leguminosas) tienen la máxima actividad fotosintética entre 18,3 y 23,9 °C, mientras que las tropicales de tipo C4 entre 29,4 y 37,8 °C por lo que se riegan más especies de clima templado porque producen a bajas tasas en verano mientras que las tropicales no producen en invierno, aún bajo riego (Volesky et al., 2003).

En el Suroeste Uruguay, los rendimientos promedios de las pasturas regadas se encuentran entre los 10-17 kg de materia seca por milímetro de agua aplicado (Formoso y Norbis, 2014).

2.5.1. Respuesta al riego en *Lotus pedunculatus* cv. Maku

En el siguiente cuadro se presenta la producción de forraje total con riego para *Lotus pedunculatus* cv. Maku, en diferentes zonas del país y diferentes períodos de evaluación.

Cuadro No. 3. Producción media de forraje (MS Kg. ha⁻¹) total con riego para *Lotus pedunculatus* cv. Maku en diferentes zonas del país

Zona del país	Período de evaluación	Producción total (MS kg.ha ⁻¹)	Fuente
Cristalino	23/09/2010 - 21/12/2011 05/01/2012- 03/01/2013 18/01/2013- 21/12/2013	21300 25900 15300	Formoso y Norbis (2014)
Cristalino	2017-2018	15724	Cardozo y Marchelli (2017)
Basalto	15/11/10 – 26/03/11	3750	Giorello et al. (2012)

2.5.2. Respuesta al riego en *Festuca arundinacea*

Debido a su alta capacidad de adaptación y producción en suelos hidromórficos y la aceptable producción de forraje estival la ubican como una de las gramíneas invernales perennes más utilizadas en evaluaciones bajo riego, la respuesta que tendrá esta especie dependerá del riego y de que no existan otros factores limitantes del crecimiento vegetal además del agua (Formoso, 2010).

Durante el período 1996-99 y 2007-08 se evaluó la producción de forraje y respuesta al riego de festuca con diferentes niveles de nitrógeno, los resultados arrojaron diversas situaciones donde hubo respuestas muy bajas menores a 1 kg MS.mm⁻¹ regado hasta respuestas elevadas superiores a 20 kg MS.mm⁻¹ con una respuesta promedio de 8 kg MS/mm, los incrementos máximos en producción de forraje ocurrieron en verano en una festuca de tercer año con riego entre diciembre y marzo (Formoso, 2010).

Cuadro No. 4. Producción de forraje de festuca en respuesta al riego y a la fertilización nitrogenada en el período 2007-2008

Períodos de riego	Secano		Riego		Biomasa (MS kg .mm ⁻¹)		
	0 N	45 N	0 N	45 N	Máximas	Mínimas	Media
	Forraje (kg MS.ha ⁻¹)						
27/12/ a 7/2	1360	1710	1680	2740	7.3(12.7)	4.0(5.7)	5.1(8.4)
1/2 a 5/3	920	1630	1030	1800	10.3(17.9)	6.0(12.3)	6.9(12.6)
21/11 a 7/3	400	450	3440	5810	4.8(9.2)	10.3(17.9)	6.5(14.0)
4/4 a 12/6	540	640	970	1780	-	-	-
Medias	805	1107	1780	3032	7.4(13.2)	6.7(12.0)	6.1(12.0)

Fuente: Formoso (2010).

Las respuestas al riego indicadas dentro de cada celda fuera del paréntesis corresponden al tratamiento sin aplicación de nitrógeno, primer número; el segundo entre paréntesis indica la respuesta al riego cuando además se fertilizó con 45 kg N. ha⁻¹ (Formoso, 2010).

2.5.3. Respuesta al riego en el género Paspalum

Mas (2007), realizó un experimento, cuyo objetivo consistió en evaluar la limitante de la falta de agua en el suelo, en la expresión productiva de las pasturas. En el caso de las gramíneas evaluadas es mayor la amplitud de valores de respuesta al riego. El más bajo corresponde a las especies de género *Paspalum*. Tanto las especies de *Paspalum dilatatum* como el *Paspalum notatum* mostraron aumentos en el rendimiento relativamente menor cuando recibieron riego, generando un incremento en el orden del 50 o 60% sobre la producción de secano.

En el período 2010-11 y 2011-12 se evaluó la producción de láminas en MS kg .ha⁻¹ acumulada bajo riego de tres gramíneas estivales entre ellas *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* y se observó que ambas especies incrementaron sus rendimientos por riego, al igual que en otras evaluaciones donde se vieron aumentos de 60% más que la producción en secano (Giorello et al., 2012).

Cuadro No. 5. Producción acumulada de láminas foliares (MS kg. ha⁻¹) bajo tres tratamientos de riego

Tratamiento	<i>Paspalum notatum</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>
ETo	9291	8313
50% ETo	9485	7136
Secano	8103	7616

Fuente: Giorello et al. (2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO

3.1.1. Ubicación y duración del período experimental

El experimento se localizó en el establecimiento “El Junco” departamento de Salto, Colonia Itapebí a 75 km de la ciudad de Salto. Su ubicación en coordenadas geográficas fue Latitud 31°11'23.74”S, Longitud 57°22'39.15”O.

El período de evaluación experimental comenzó el 18 de diciembre de 2018 y concluyó el 23 de diciembre de 2019, totalizando 370 días de evaluación.

3.1.2. Descripción del sitio de evaluación

El suelo pertenece al grupo CONEAT 12.11, perteneciente a la unidad Itapebí-Tres Árboles, que se caracteriza por presentar lomadas suaves con 1 a 3 % de pendiente con valles cóncavos asociados. Los suelos dominantes son Vertisoles Háplicos y Brunosoles Éútricos Típicos, como suelos asociados, ocupando las pendientes se puede encontrar además de los ya mencionados Litosoles Éútricos Melánicos. El uso principal de estos suelos es pastoril agrícola, el área agrícola puede presentar limitaciones (MAP. DSF, 1979).

Este suelo es de textura arcillosa con alto contenido de materia orgánica y alto porcentaje de saturación en bases, presentando drenaje moderadamente bueno a bueno, con un horizonte A que alcanza los 60-80 cm de profundidad (Bourdin et al., 2015).

Durante el período de evaluación de la pastura, la precipitación acumulada fue de 1961 mm, desde diciembre de 2018 hasta diciembre de 2019, siendo enero el mes que presentó el mayor registro de pluviometría con 486 mm, mientras que marzo presentó el menor registro (39 mm). La temperatura del aire promedio fue para cada estación de 23,7°C en verano, en otoño registró un promedio de 19,1°C, en invierno tuvo una temperatura promedio de 13,7 °C y en la primavera 19,4°C de temperatura promedio.

3.1.3. Fecha de siembra de las pasturas

La evaluación se realizó sobre cuatro pasturas sembradas, *Lotus pedunculatus* 2,24 ha, *Festuca arundinacea* 1,2 ha, *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum* 1,19 ha, estas dos especies se encuentran dentro de una misma parcela.

La siembra de *Lotus pedunculatus* y *Festuca arundinacea* se realizó en marzo de 2015, mientras que el *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum* fueron sembrados en noviembre de 2016. Todas las parcelas de las pasturas contaban con sistema de riego por gravedad.

3.1.4. Fertilización

Se realizaron fertilizaciones anuales con 250 kg. ha⁻¹ de supersimple para *Lotus pedunculatus* y 100 kg. ha⁻¹ de urea para las parcelas de *Festuca arundinacea*, *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum*.

3.1.5. Control de malezas plagas y enfermedades

No se realizó ningún tipo de control de malezas, enfermedades o plagas en los ensayos durante este período de evaluación.

3.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental consistió en la evaluación de la producción de materia seca, altura de la pastura, índice de área foliar (IAF), y la composición botánica en tres pasturas instaladas entre 2015 y 2016 bajo riego, durante un período de evaluación de un año; que contemple el desarrollo de las mismas en las cuatro estaciones del año.

El ensayo fue diseñado en tres parcelas correspondientes a festuca (1,2 há), lotus (2,24 há), *P. dilatatum* y *P. notatum* (1,19 há) estas dos especies están dentro de una misma parcela, el área total del ensayo fue de 4 hectáreas.

Como el área experimental estaba con ganado al menos parte del año, dentro de cada parcela se colocaron jaulas de exclusión: cuatro jaulas en las parcelas de festuca y lotus

y dos para las parcelas de *Paspalum dilatatum* y *notatum*. Las jaulas de exclusión tenían un área de 1 m², dentro de las cuales se realizaron las mediciones.

Se realizaron dos grupos de evaluaciones en las jaulas:

- 1) Periódicamente cada 60 días aproximadamente, corte de biomasa, altura de la pastura, IAF y botánica de la cobertura dentro de la jaula. Luego de cada corte, se movía el sitio de cada jaula.
- 2) Entre los períodos de corte (cada 15 días aproximadamente) dentro de las jaulas, se evaluó sin perturbar el crecimiento la evolución del IAF y de la altura de la pastura.

En las mediciones con corte se registró como variables cuantitativas en cada parcela: la altura de la pastura, el IAF, la materia seca y la composición botánica como porcentaje de la cobertura. En las mediciones sin corte cada 15 días se determinó únicamente IAF y altura.

3.2.1. Mediciones con corte dentro de las jaulas

A lo largo de todo el período de evaluación se realizaron siete evaluaciones con cortes dentro de las jaulas, aproximadamente cada dos meses, cuyas fechas fueron: 18 de diciembre de 2018, 21 de febrero de 2019, 23 de abril de 2019, 26 de junio de 2019, 13 de setiembre de 2019, 14 de noviembre de 2019 y 23 de diciembre de 2019. Dentro de cada jaula, se identificaron dos áreas rectangulares para realizar las determinaciones. Cada área muestral dentro de la jaula consistía en dos rectángulos de 0,20 x 0,50 m, donde se midió con regla la altura de la pastura utilizando el criterio de horizonte de máxima densidad de hojas y se determinó visualmente la proporción de cada especie dentro del rectángulo, en relación a la cobertura.

También dentro de cada área de muestreo (rectángulo de 0,1 m²) se realizaron cortes de la biomasa de la pastura con tijera para estimar la producción de materia seca de la misma, dejando un remanente de 1 cm.

Cada muestra de la pastura fue pesada en el día, al llegar al laboratorio para determinar el peso fresco. Se obtuvieron ocho muestras para las parcelas de lotus y festuca mientras que para *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum* cuatro muestras por especie. Luego de obtener el peso fresco se colocaron las muestras a 65 °C por 48 horas en estufa de secado con circulación forzada del aire (THELCO). Pasadas las 48 horas, se pesó nuevamente cada muestra y se obtuvo, el contenido de materia seca de las pasturas.

3.2.2. Mediciones de índice de área foliar y composición botánica

Antes de realizar el corte correspondiente a cada periodo, se estimó el IAF a través de la intercepción de la radiación solar, con el uso de un ceptómetro (Accupar LP-80, USA). En cada jaula se realizó una sola medición de IAF previo al corte y una sola medición por jaula en las mediciones entre cortes. Para estimar el IAF, con el ceptómetro se midió sobre el tapiz de la pastura la radiación solar incidente; posteriormente dos o tres medidas de la radiación incidente debajo de la pastura sobre la superficie del suelo. Con la fracción de la radiación incidente sobre la pastura y bajo la pastura, la hora del día y el tipo de hoja de la pastura se estimó el IAF (Garrigues et al., 2008).

Para la determinación de la composición botánica se evaluó visualmente la proporción de las diferentes especies presentes en cada cuadrante.

Las diferentes especies presentes se agruparon según características morfológicas en: especie sembrada, gramíneas, leguminosas, restos secos y suelo desnudo.

3.2.3. Mediciones dentro de las jaulas entre las fechas de corte

Durante el período entre cortes se determinó para cada pastura el IAF y altura tomando la medida en el horizonte de mayor densidad de hojas, con una frecuencia cada 15 días aproximadamente, el objetivo de esta medición fue estudiar la evolución de estas dos variables de las estas pasturas bajo riego. La medición se realiza en la posición original de cada jaula colocada posteriormente al corte realizado, esto permite que no se perturbe el crecimiento de la pastura para que luego en los cortes se pueda observar el crecimiento total.

3.2.4. Manejo del riego

El manejo del riego se realizó en base a un balance de agua en el suelo, con las características hidráulicas del mismo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), los datos de precipitación y ETo diarios obtenidos de la Estación Meteorológica INIA Salto Grande, y el estado fenológico de la pastura. El balance hídrico permite estimar cuándo realizar un riego de acuerdo a la lámina y al umbral de agotamiento permitido establecido.

El contenido de agua se mantuvo entre capacidad de campo y el umbral de riego, manteniendo de este modo el contenido de agua por encima del umbral de agotamiento

permitido (p), el cual hace referencia al contenido de agua en el suelo donde no hay reducción en las funciones fisiológicas.

La evolución del contenido de agua del suelo (Hv%) se registró con sensores de capacitancia (FDR; 10HS METER, USA). Se colocaron dos datalogger por parcela con 4 sensores cada uno cada 10 cm de profundidad hasta los 40 cm de profundidad, obteniendo el contenido de humedad volumétrica a diferentes profundidades, los datalogger toman y almacenan registros cada hora y para la realización del balance se tomó los datos registrados a las 9 pm de cada día, asumiendo que a esta hora la ETo es mínima.

Se consideró una profundidad efectiva de arraigamiento radicular promedio para definir el balance de agua en el suelo de 40 cm. A esta profundidad el suelo tiene a capacidad de campo 186 mm de agua y en punto de marchitez permanente 133,9 mm, suministrando 52,1 mm de agua disponible a la pastura para los primeros 40 cm del perfil.

Los datos de coeficiente del cultivo simple (Kc) fueron los obtenidos de Allen et al. (1998) para pasturas forrajeras (alfalfa), utilizando un Kc mínimo de 0,4 y un Kc máximo de 0,95. La duración de la etapa inicial fue de 6 días donde la pastura se repone de la defoliación. Luego de esta etapa, el Kc crece linealmente hasta alcanzar el máximo valor y estabilizarse dos días previos al nuevo corte. La duración de la etapa dos, dependió del largo del período entre cortes y de la estación del año en cada especie evaluada.

3.2.5. Criterio de riego

El método de riego utilizado fue de melgas o fajas, las cuales se ubicaron a favor de la pendiente permitiendo así el desplazamiento uniforme del agua. Los riegos se realizaron con el objetivo de reponer una lámina neta de 50-55 mm para todas las especies cada vez que la evapotranspiración (ETo) Penman-Monteith alcanzaba los 50 mm.

En cada riego se aplicó, una lámina bruta entre 85 y 95 mm, con el objetivo de que 50-55 mm penetren el suelo (lámina neta), el umbral del agotamiento permitido del contenido del agua en el suelo (p) corresponde al 50% del agua disponible, con una eficiencia estimada del método del riego del 60%.

3.2.6. Temporada de riego

Se determinó el período noviembre-enero como la temporada de riego para las pasturas, logrando un uso más eficiente del agua en el momento de mayor requerimiento y probabilidad de déficit. Debido a que el régimen pluviométrico en Uruguay se caracteriza

por una distribución acumulada promedio mensual relativamente semejante entre meses, la demanda atmosférica presenta una marcada estacionalidad registrando los valores máximos mensuales en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero con valores promedio de 120 a 160 mm mensuales (Otero, 2017).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN

Uruguay se encuentra en una región de clima subtropical donde las precipitaciones promedio oscilan entorno a los 1200 mm, con una distribución isohigro. Las temperaturas medias oscilan entre 16°C y 19°C (Sureste y Norte respectivamente). En enero, el rango de temperatura del aire se encuentra entre 22°C y 27°C, y para julio el mes más frío, varía desde 11°C a 14°C respectivamente para cada región (Durán, 1985).

En las figuras No. 4 y No. 5, se observan los datos de temperatura del aire y precipitación registrados durante el período de evaluación (12/2018 a 12/2019), y la serie histórica 1970-2010.

4.1.1. Temperatura

En la figura No. 4 se puede apreciar la evolución de la temperatura promedio mensual máxima y mínima registrada durante el período de evaluación diciembre 2018 - diciembre 2019 comparada con la serie histórica de 1970-2010 de temperatura promedio mensual máxima y mínima.

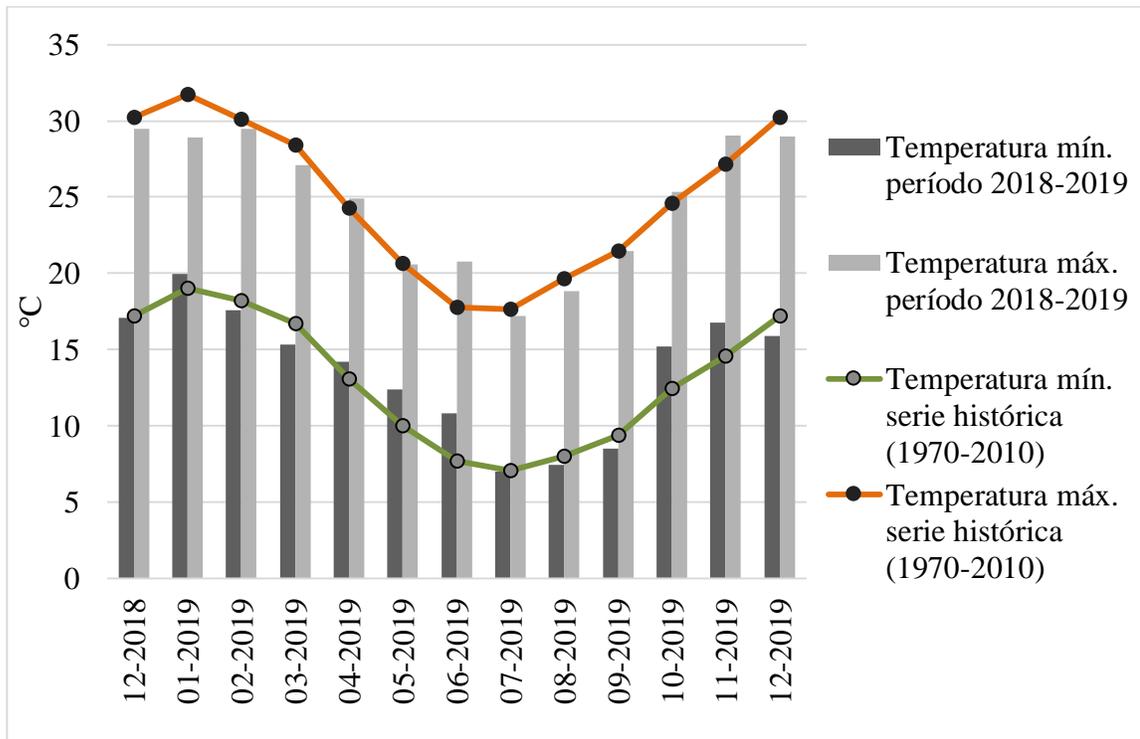


Figura No. 4. Evolución de la temperatura promedio mensual máxima y mínima del período de evaluación (2018-2019) y de la serie histórica (1970-2010)

Como se puede observar en la figura No. 4, las temperaturas máximas en el verano 2018/2019 estuvieron levemente por debajo de las registradas en la serie histórica, mientras que en invierno se registró en el mes de junio temperaturas máximas y mínimas por encima del promedio histórico.

Según estos registros se puede caracterizar el año desde el punto de vista de la temperatura, como un año “normal”, no encontrando grandes diferencias entre las temperaturas del período de evaluación y la serie histórica.

La temperatura óptima para la fotosíntesis varía según el metabolismo fotosintético de cada vegetal, siendo el rango óptimo para especies C3 de 18 a 25 °C y para especies C4 de 28 a 35 °C (Cooper y Tainton, 1968).

Para las especies C4 en evaluación *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* las temperaturas más adecuadas para estas especies se dieron entre noviembre y febrero. *Festuca arundinacea* y *Lotus pedunculatus* especies C3 encuentran temperaturas dentro de su rango óptimo de abril a octubre en el período de evaluación.

4.1.2. Precipitaciones

En la figura No. 5 se presenta la precipitación acumulada mensual del período de evaluación, comparada con una serie histórica de 40 años en Salto. Se observa grandes diferencias la precipitación, con un verano lluvioso donde en enero las precipitaciones fueron muy superiores (357 mm) a la serie histórica, y contrariamente en marzo, los registros fueron inferiores (129 mm) a los ocurridos en la serie histórica, en los meses restantes no hubo gran diferencia en las precipitaciones.

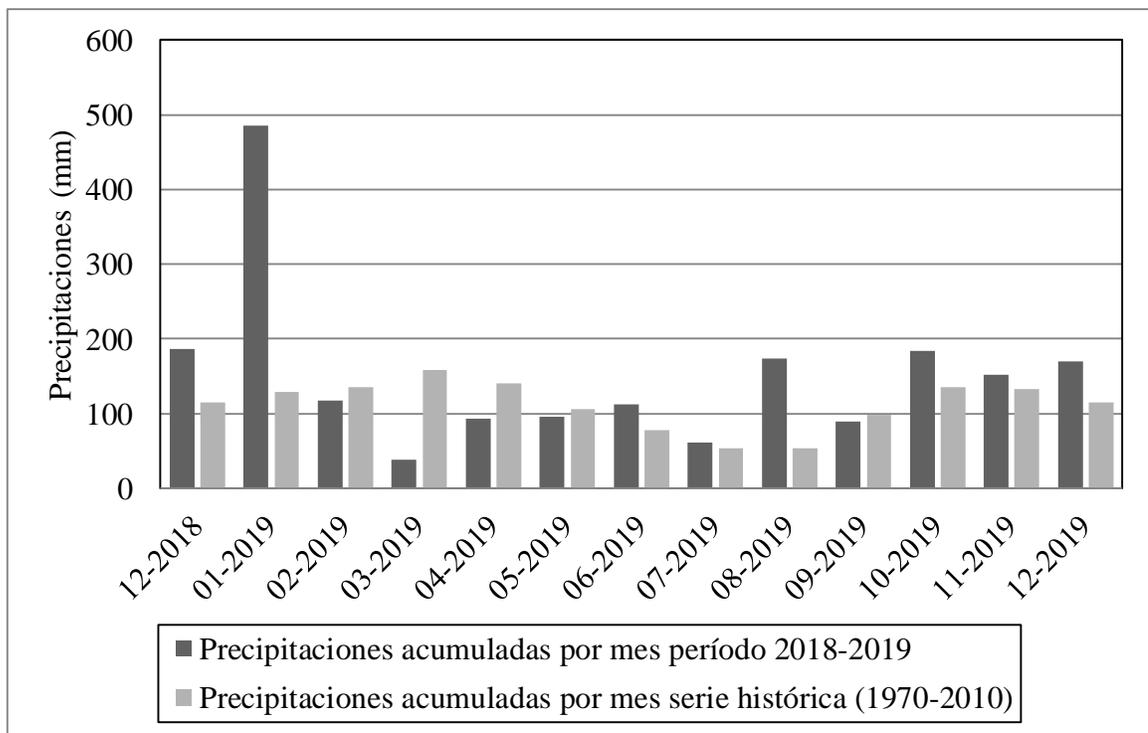


Figura No. 5. Precipitación acumulada mensual del período de evaluación (2018-2019) y la serie histórica (1970-2010) para Salto

4.1.3. Evapotranspiración

Se presentan los valores de evapotranspiración acumulada para el año de evaluación y la serie histórica de 40 años (1970-2010). Las diferencias más importantes ocurrieron en enero, donde la ETo fue menor a los registros históricos.

En ambos casos se identificó el período noviembre-febrero como el de mayor demanda donde los registros generalmente superan los 5 mm.d⁻¹, mientras que el período mayo-agosto registró las menores demandas sin superar los 2 mm.d⁻¹.

Durante enero se observó una gran diferencia entre la ETo histórica y la ETo del período de evaluación. Explicada por la gran cantidad de precipitaciones ocurridas durante este mes.

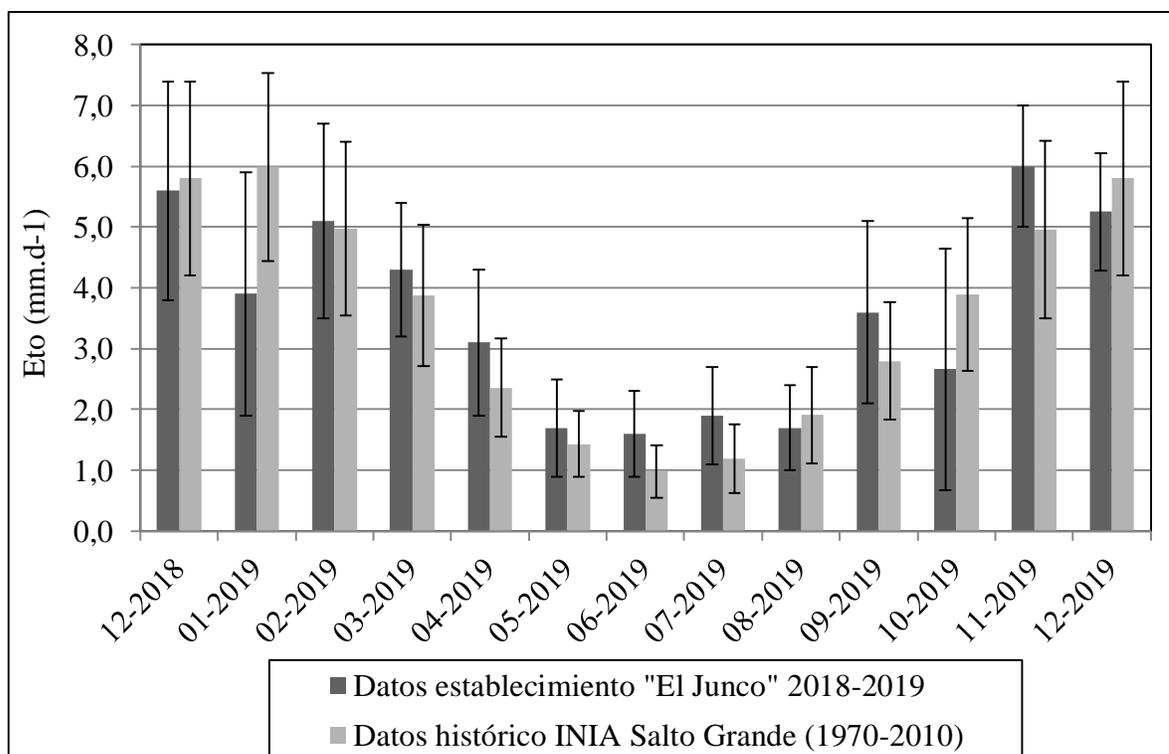


Figura No. 6. Evolución de la evapotranspiración promedio diaria de serie histórica 1970-2010, INIA Salto Grande y período experimental 2018-2019, El Junco, Salto

4.1.5. Balance hídrico climático

Se define el balance hídrico climático, como la diferencia entre la precipitación y evapotranspiración registrada cada mes, a los efectos de poder evaluar el grado de estrés hídrico climático al cual estuvieron expuestas las pasturas dentro del período de evaluación.

Con los datos registrados de precipitación y evapotranspiración se observó en la figura No. 7 un exceso hídrico climático claro desde diciembre a febrero, donde las precipitaciones alcanzaron los 500 mm aproximados durante el mes de enero.

En contraste a esto se observó un déficit hídrico climático importante comenzando en el mes de febrero hasta el mes de abril, en el cual las precipitaciones en febrero y marzo con mayor diferencia en éste último no superaron la demanda atmosférica. Estas deficiencias ocurridas en el período afectaron la producción debido al estrés que generan en las plantas por la incapacidad de satisfacer la demanda atmosférica. En lo que resta del año no se observó balance hídrico climático negativo debido principalmente a la menor demanda atmosférica.

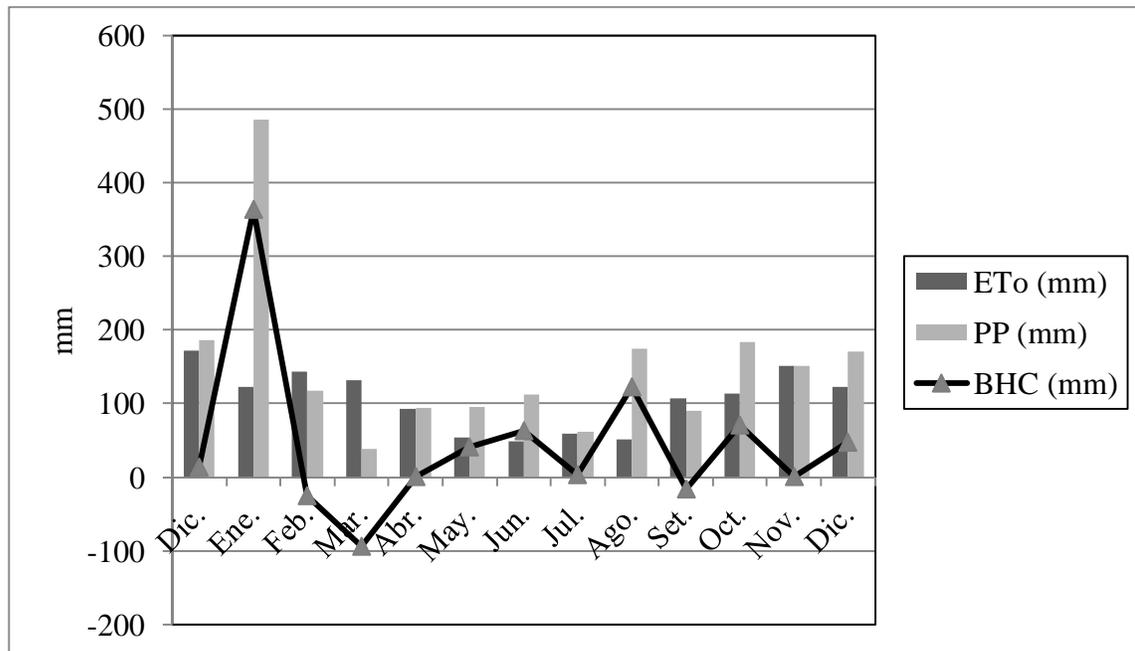


Figura No. 7. Evolución de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración de referencia acumulada mensual del período de evaluación (2018-2019)

4.2. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

En la figura No. 8 se muestra la evolución del contenido de agua en el suelo (mm) a 40 cm de profundidad radicular efectiva, para las diferentes especies durante el período de evaluación.

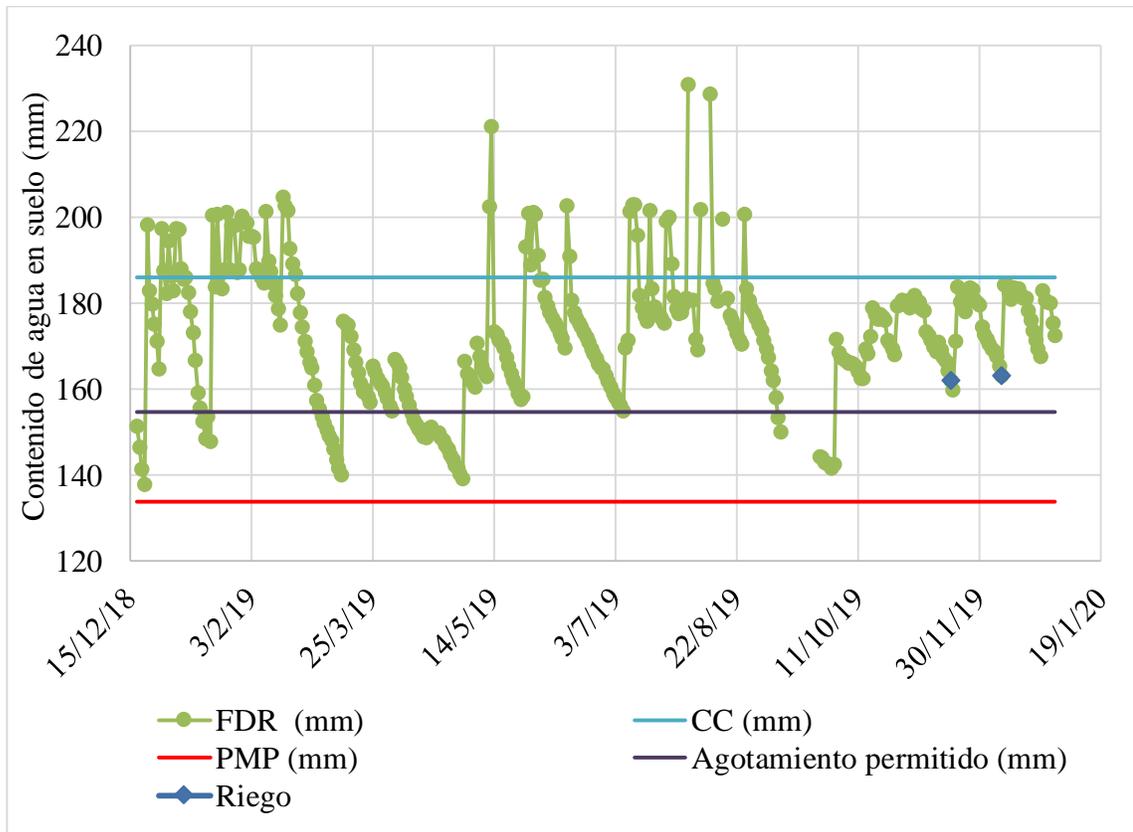


Figura No. 8. Evolución del contenido de agua disponible en el suelo (mm) para las pasturas en evaluación

Durante el verano 2018-2019 no se realizó ningún riego debido a que las precipitaciones fueron suficientes para mantener el balance hídrico del suelo, el primer riego se realizó el 18/11/19 y el segundo el 9/12/19 siendo estos dos los únicos riegos realizados durante el período de evaluación.

Se observaron durante la evaluación cuatro momentos donde el contenido de agua en el suelo fue inferior a la fracción de agotamiento permitido (p) y cercano al punto de marchitez permanente (PMP) fuera del período de riego, estas condiciones fueron provocadas principalmente por ausencia de precipitaciones, bajo estas condiciones es esperable que las especies tengan baja producción y se comprometa su sobrevivencia.

Durante el período estival el contenido de agua en el suelo fue siempre superior a la fracción de agotamiento (p) por lo que no se condiciona la producción vegetal por efecto del déficit hídrico.

Cuadro No. 6. Fechas de riego, lámina de riego mm aplicada total (mm) y lámina de riego promedio aplicado por parcela (mm)

Fecha	mm totales aplicados	mm promedio aplicado por parcela
18/11/2019	139	46
9/12/2019	182	61

Se implementación dos riegos cada 50 mm de evapotranspiración acumulados el 18/11/2019 y el 9/12/2019 fecha del último riego, dado que después de esa fecha las precipitaciones fueron suficientes como para mantener un balance hídrico que no requirió más riegos. Como se observa en la figura No. 8 el momento que se realizaron los dos riegos coincide con un descenso del contenido de agua en el suelo cercano al agotamiento permitido (p%), luego del riego se llevó nuevamente a capacidad de campo (CC) con el objetivo que no se produzcan condiciones estresantes para el cultivo.

4.3. COMPOSICIÓN BOTÁNICA

Para el análisis los cortes se agruparon por estaciones, el corte del 18/12/18 corresponde a primavera, 21/02/19 verano, 23/04/19 y 26/06/19 otoño, 13/09/19 invierno, 14/11/19 y 23/12/19 primavera.

4.3.1. Composición botánica en *Lotus pedunculatus* cv. Maku

Cuadro No. 7. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en *Lotus pedunculatus* cv Maku

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Lotus	41	5	15	44	35
Gramíneas	8	91	75	49	55
Leguminosas	51	-	-	7	10
Malezas	-	4	-	-	-
Restos secos	-	-	10	-	-

Se observa la máxima cobertura de lotus en primavera e invierno. Esto concuerda con los estudios realizados por Carámbula et al. (1994), los cuales afirman que *Lotus pedunculatus* muestra alta capacidad productiva con una destacada producción invernal. Los mínimos observados fueron en verano y otoño cuando el mayor aporte lo realizan las gramíneas espontáneas (*Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis* y *Lolium multiflorum*).

Esta contribución se explica por ser una pastura de 5° año, donde el aporte de las especies sembradas es relegado debido a la baja persistencia y capacidad competitiva (Carámbula, 2002), y más tratándose de una leguminosa que es el componente de las pasturas que primero se pierde por competencia frente a gramíneas. A fines de verano y otoño esta especie destina los fotosintatos principalmente a la formación de rizomas y en menor proporción al crecimiento de tallos y hojas aéreas, por eso la cobertura es menor.

4.3.2. Composición botánica en *Festuca arundinacea* cv. Aurora

Cuadro No. 8. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en *Festuca arundinacea* cv. Aurora

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Festuca	50	28	39	45	27
Gramíneas	20	30	41	45	59
Leguminosas	11	-	-	4	-
Restos secos	10	31	-	-	14
Suelo desnudo	9	11	20	6	-

Por ser una especie de ciclo productivo invernal se espera la mayor contribución en invierno y primavera observando 50% de cobertura en ambas estaciones, igual que en el caso de lotus es una pradera de 5° año por lo que se observa una importante contribución de

especies espontáneas (*Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*, *Lolium multiflorum* y *Echinochloa colona*) entre 30-60 % en todas las estaciones. En verano se explica por la baja capacidad competitiva de la festuca frente a especies estivales en condiciones de alta temperatura y alta disponibilidad hídrica. También esta baja contribución de la especie sembrada se debe al manejo del pastoreo previo a la evaluación.

4.3.3. Composición botánica en *Paspalum dilatatum* cv. Chirú

Cuadro No. 9. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en *Paspalum dilatatum* cv Chirú

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<i>Paspalum dilatatum</i>	25	70	39	15	11
Gramíneas	-	5	25	45	33
Leguminosas	35	20	18	20	15
Restos secos	40	-	-	20	23
Suelo desnudo	-	5	18	-	18

En verano es donde se observa la mayor cobertura para esta especie correspondiéndole con su ciclo productivo estival. Según Rosengurtt et al. (1970) el período de producción de forraje va desde noviembre a principios de otoño. Según Carámbula (2002), por su tipo de crecimiento no logra cubrir totalmente el suelo y es recomendado en siembras en mezcla, por esto se observa en otoño e invierno un alto porcentaje de suelo desnudo y gran aporte de especies espontáneas principalmente *Trifolium repens* y *Lolium multiflorum*.

4.3.4. Composición botánica en *Paspalum notatum* cv. INIA Sepé

Cuadro No. 10. Composición botánica. Porcentaje de cobertura promedio por estación en *Paspalum notatum* cv INIA Sepé

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<i>Paspalum notatum</i>	80	100	100	45	100
Leguminosas	8	-	-	5	-
Restos secos	2	-	-	50	-
Suelo desnudo	10	-	-	-	-

Paspalum notatum presentó una muy buena cobertura durante todo el año. Según Burson y Watson (1995), esta especie resiste a invasión de malezas por su estructura densa y cerrada, por lo que se observó muy pocas especies espontáneas a lo largo de la evaluación. En invierno el 50% de los restos secos son producto de heladas que afectaron la pastura.

De las cuatro pasturas evaluadas *Paspalum notatum* fue la que se mantuvo más pura, con mínimos aportes de especies espontáneas a la composición botánica, estando entre un 80-100% de cobertura por *Paspalum notatum* todo el año a excepción del invierno.

4.4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

La producción de materia seca (kg. ha⁻¹) corresponde a toda la biomasa acumulada, incluye especies sembradas, espontáneas y malezas, no se realizó diferenciación por especies.

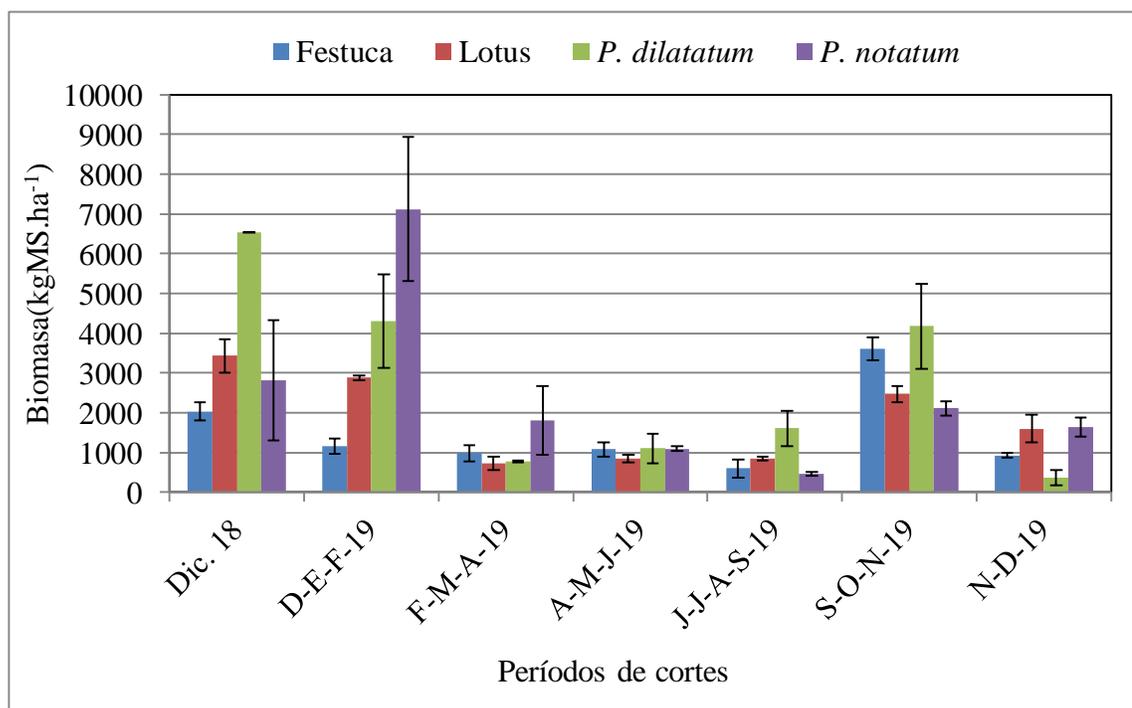


Figura No. 9. Producción promedio de biomasa (kg MS. ha⁻¹) de las parcelas en cada período de corte

Se observó que todas las pasturas lograron producciones por encima de los 2000 kg MS.ha⁻¹, en los cortes correspondientes a la primavera (18/12/18, 14/11/19).

En el período estival (de diciembre 2018 a febrero 2019), el género *Paspalum* presentó la mayor producción, dentro de éste se destaca *Paspalum notatum* con 7118 kg MS.ha⁻¹.

Las mayores producciones durante el período estival de las especies del género *Paspalum* frente a lotus y festuca se adjudican principalmente al mecanismo fotosintético (C3 y C4), explicado por la disminución de la fotorrespiración en C4 separando espacialmente la fijación inicial de CO₂ y el ciclo de Calvin, además de que la actividad metabólica aumenta con los incrementos de temperatura en especies C3 como festuca y lotus.

Festuca y lotus presentaron producciones estivales similares a las registradas por Giorello et al. (2012), con producciones estivales (15/11 a 26/03) bajo riego suplementario de 1973 kg MS.ha⁻¹ para *Festuca arundinaceae* cv. Aurora y en *Lotus pedunculatus* cv. Maku 1617 kg MS.ha⁻¹.

Durante fines de verano y otoño se registró un fuerte déficit hídrico de -117 mm que se mantuvo desde marzo hasta abril, lo cual evidentemente condiciona el crecimiento de las pasturas debido a que en esta época se encuentran acumulando reservas y generando nuevos puntos de crecimiento

Las mínimas producciones se registraron en el período desde 26/06/19 al 13/09/19 donde solo *Paspalum dilatatum* superó los 1000 kg MS.ha⁻¹.

L. pedunculatus no mostro la buena producción invernal que lo caracteriza esto se debió al déficit hídrico ocurrido en otoño el cual perjudico la acumulación de reservas de esta especie, también destacar que en este periodo hubo una importante acumulación de restos secos que condicionaron su crecimiento.

4.4.1. Producción de materia seca acumulada

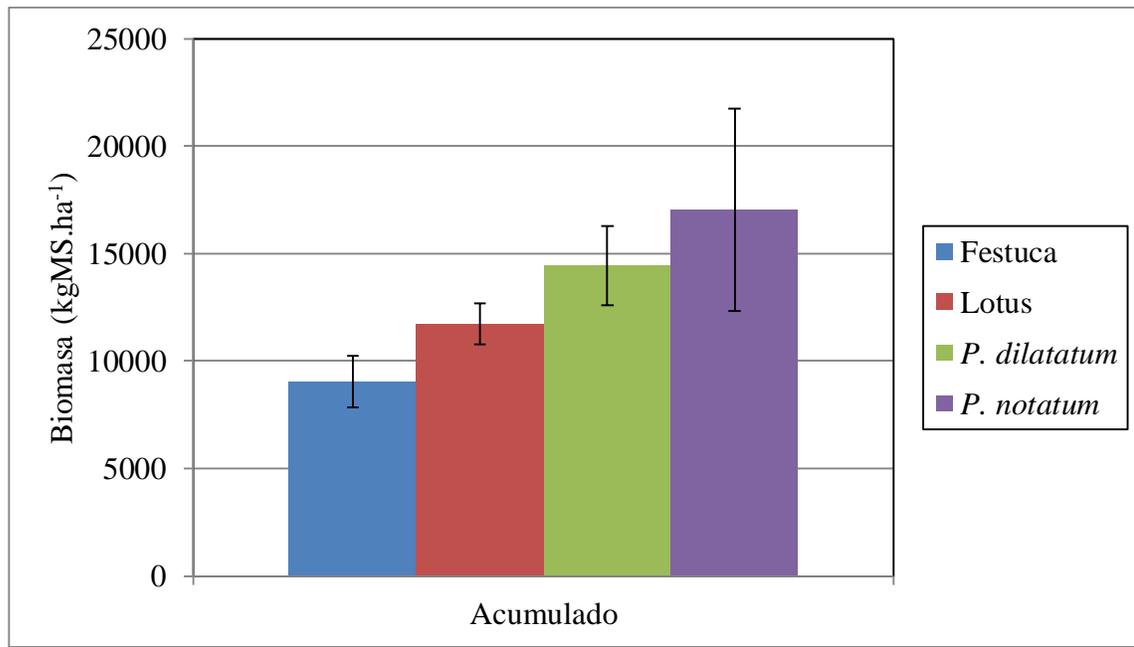


Figura No. 10. Producción de forraje acumulado bajo riego suplementario durante el período 18/12/2018 a 23/12/2019

Se puede observar que durante el período de evaluación, las pasturas de *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum* fueron las que más producción de forraje acumulado mostraron con 17051 y 14439 kg MS.ha⁻¹ respectivamente.

Las producciones de *Paspalum dilatatum* superaron los rangos presentados por Álvarez (1982), quien establece un rango de rendimientos entre 4,5-12 Mg MS.ha⁻¹

En *Paspalum notatum* las producciones observadas también superaron a las registradas por Boggiano et al. (2014) de 9291 kg MS.ha⁻¹.

Festuca y lotus mostraron producciones inferiores, siendo en festuca donde se observó la producción más baja con 9041 kg MS.ha⁻¹.

Cabe destacar la edad de estas pasturas, *L. pedunculatus* y *F. arundinacea* son de quinto año, donde el aporte de las especies sembradas es relegado por las especies espontáneas y ya pasaron el momento de máxima producción de la pastura, que es el segundo año.

4.5. TASA DE CRECIMIENTO

Cuadro No. 11. Tasa de crecimiento (TCC) (kg MS.ha⁻¹.d⁻¹) de las distintas pasturas bajo riego y desvío estándar (DS) de las especies

	Lotus		Festuca		<i>P. dilatatum</i>		<i>P. notatum</i>	
	TCC	DS	TCC	DS	TCC	DS	TCC	DS
Dic.-18	42	5	34	8	59	0	47	36
Feb.-19	44	2	18	6	63	21	110	40
Abr.-19	12	5	14	5	13	1	30	20
Jun.-19	13	3	17	6	17	8	17	1
Set.-19	11	1	6	6	17	4	6	1
Nov.-19	40	7	39	6	52	2	34	4
Dic.-19	37	12	24	3	10	7	42	9

Las especies estivales *P. notatum*, *P. dilatatum* y lotus presentaron tasas de crecimiento máximas en verano correspondiente al corte de febrero 2019. *Paspalum notatum* tuvo la tasa de crecimiento mayor con 110 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, en *Paspalum dilatatum* mostró máximos de 63 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, mientras *Lotus pedunculatus* mostró máximos de 40 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, finalmente para festuca las tasas máximas fueron en primavera, al ser de ciclo productivo invernal.

Las bajas tasas de crecimiento observadas en *Festuca arundinacea* durante verano se corresponden con lo observado por Barnes et al. (1995), los cuales afirman que el rebrote vegetativo de esta especie generalmente cesa durante el verano ante condiciones de calor y déficit hídrico retomando el crecimiento en otoño.

Las tasas de crecimiento estival de cv. maku superaron las observadas por Giorello et al. (2012), de 13 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, esto puede deberse al aporte de otras especies estivales espontáneas altamente invasoras como *Cynodon dactylon* y *Digitaria sanguinalis*, que toman un rol importante colonizando las zonas descubiertas generadas en una pastura de 5^{to}. año, a su vez la aparición de estas especies se vio favorecida por las precipitaciones ocurridas a partir de enero.

Paspalum dilatatum presentó tasas de crecimiento entre 10 y 60 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹, teniendo similitudes con las obtenidas por Arce et al. (2013), quienes registraron para esta especie y bajo riego tasas de 45 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹.

Paspalum notatum registró tasas de crecimiento anual promedio de 46 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹ con máximos en verano alcanzando los 110 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹ y mínimos en invierno con 6 kg, de acuerdo con lo presentado por INIA (2019), donde las tasas de crecimiento

para el período noviembre abril promediaron los 45 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹ registrando los máximos en enero con 100 kg MS. ha⁻¹. d⁻¹.

4.6. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la evolución del índice de área foliar para las cuatro especies en estudio bajo riego. Estos datos están compuestos por los registros en las fechas de corte (cada dos meses) y de las mediciones entre cortes (cada 15 días).

En las pasturas, el IAF varía con el número de especies y el porcentaje de contribución de cada especie (Brougham, 1956). En este caso, al ser pasturas avanzadas, la evolución del IAF estará afectada por la contribución de las especies espontáneas y también a factores ambientales como temperatura precipitaciones y eventos de riego.

El IAF óptimo es definido como el IAF que se logra interceptar el 95% de la radiación solar incidente y donde el crecimiento foliar pasa a ser lineal (Brougham, citado por Bordaberry et al., 2017). Según Carámbula (1997), esta relación depende de la especie, siendo mayor en gramíneas que en leguminosas.

De acuerdo con Black, citado por Velasco-Zebadúa et al. (2002) el índice de área foliar óptimo presenta valores más altos en primavera y verano cuando la intensidad de la luz y la temperatura son mayores, en la primavera por las mejores condiciones climáticas - especialmente de la temperatura- las hojas se expanden más rápido y son más largas.

4.6.1. Evolución del IAF en *Lotus pedunculatus* cv. Maku

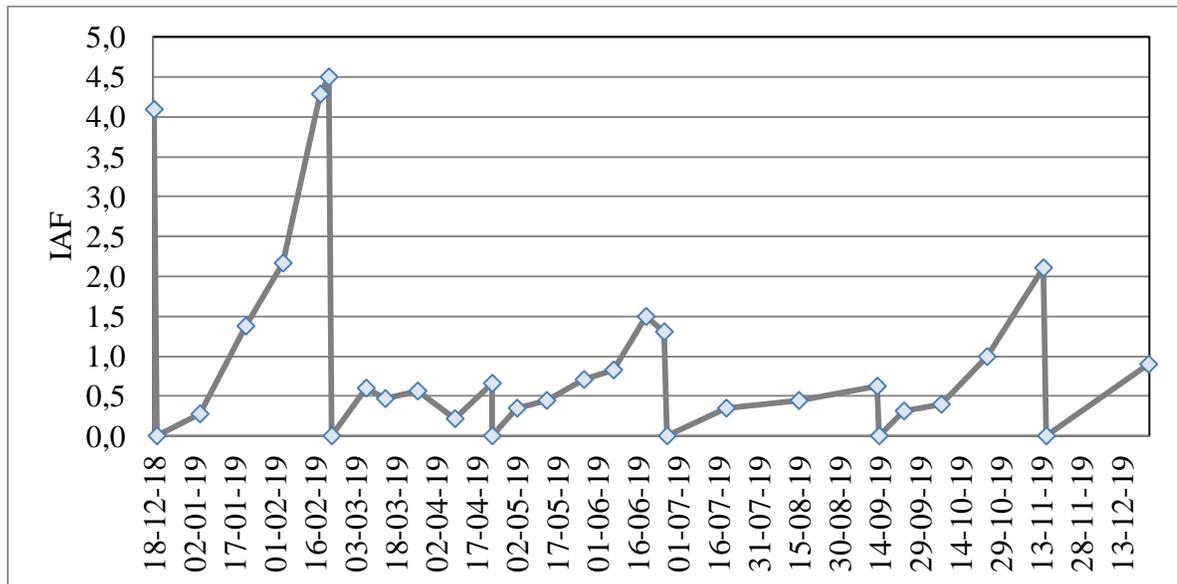


Figura No. 11. Evolución del índice de área foliar promedio de *Lotus pedunculatus*, diciembre 2018 a diciembre 2019

Los registros máximos de IAF para *Lotus pedunculatus* (4,5) se dieron durante el período de primavera y verano correspondiéndole con el momento en que es mayor la tasa de crecimiento, debido a las condiciones óptimas de temperatura y precipitación. En contraste, durante el invierno se registraron los menores IAF (0,21), coincidiendo con la menor tasa de crecimiento y menor producción de materia seca.

Los bajos valores del IAF durante el período 18/02/19-18/04/19 se deben al déficit hídrico ocurrido en este periodo.

Se puede observar que, en varios períodos, el IAF es menor a uno, lo que indica que no logra cubrir totalmente el suelo. Esto determinará una menor tasa de crecimiento de la pastura y menor producción de materia seca, por el escaso aprovechamiento de la radiación incidente.

4.6.2. Evolución del IAF en *Festuca arundinacea* cv. Aurora

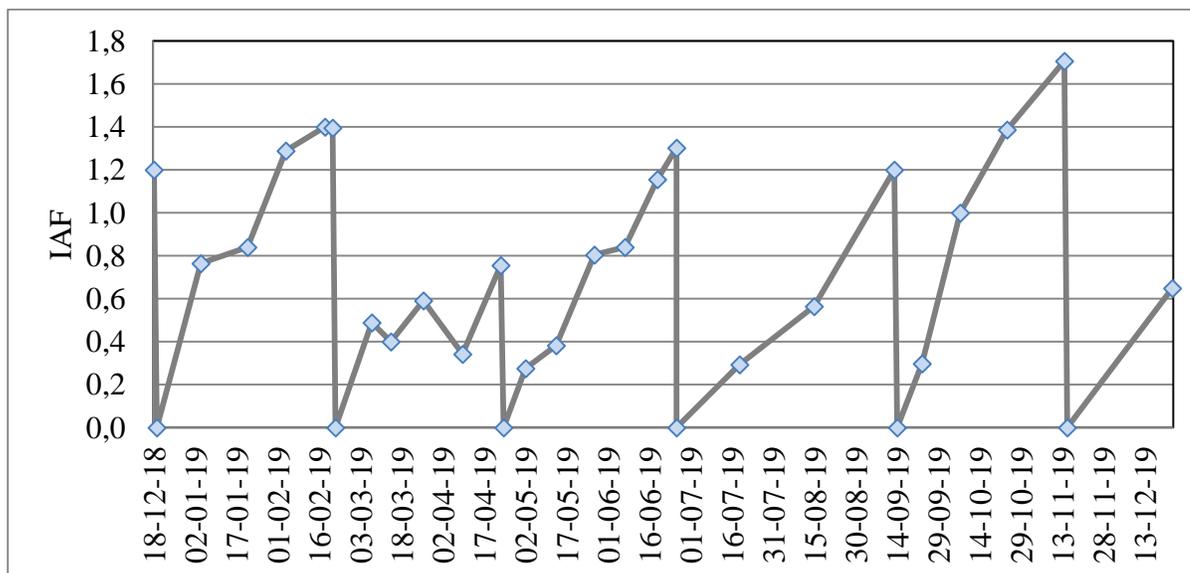


Figura No. 12. Evolución del índice de área foliar promedio de *Festuca arundinacea*, diciembre 2018 a diciembre 2019

Festuca arundinacea presentó los registros más bajos del IAF a lo largo de todo el período anual de evaluación, incluso bajo riego. El máximo IAF fue registrado en primavera (1,6) y el mínimo (0,27) registro luego de un corte se dio en otoño-invierno (0,0-0,8).

Luego del corte, por un período de 20 días aproximadamente, el área foliar se incrementó a su mayor tasa, luego de este momento hay cambios en la evolución del IAF, estos cambios se deben según Deregibus (2011a), al incremento de la tasa de senescencia de las estructuras más viejas que provocan una desaceleración del IAF.

Se observa en la festuca que durante todos los períodos se llega a un valor máximo de IAF, el cual corresponde al último registro previo al corte, por lo cual no se llega a la etapa en que la producción de materia seca y la senescencia se iguala.

4.6.3. Evolución del IAF en *Paspalum dilatatum* cv. Estanzuela-Chirú

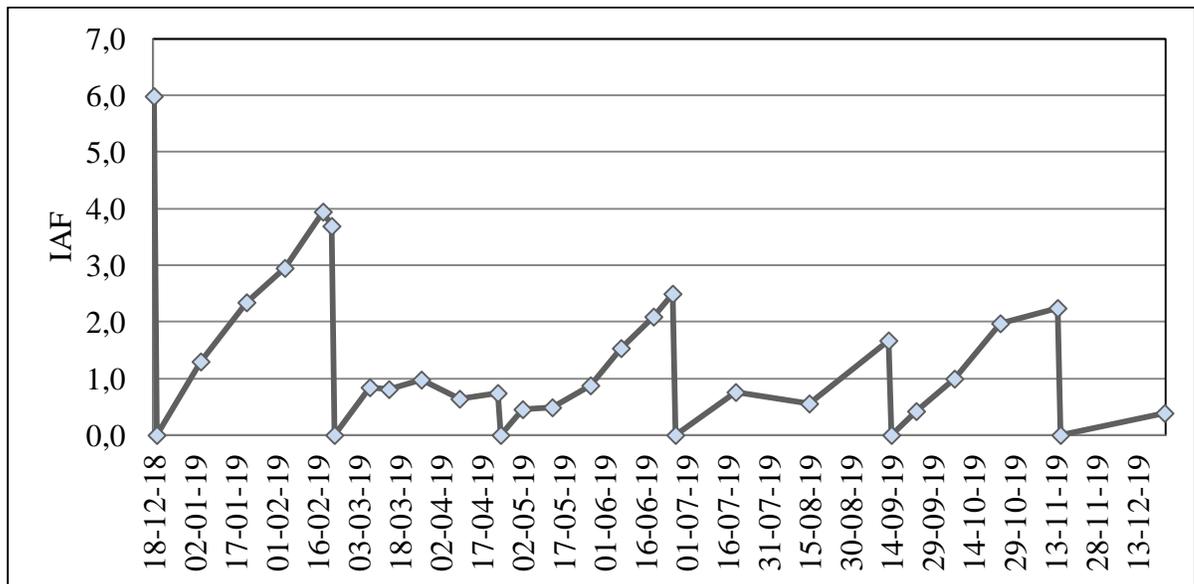


Figura No. 13. Evolución del índice de área foliar promedio de *Paspalum dilatatum*, diciembre 2018 a diciembre 2019

De acuerdo con su ciclo productivo y el momento en el que se dan las máximas tasas de crecimiento, *Paspalum dilatatum* presenta el mayor IAF en el período de primavera-2018 a verano-2019, con un crecimiento lineal del área foliar hasta el momento del siguiente corte.

El bajo IAF del segundo período, 18/02/19 al 18/04/19, se debió al déficit hídrico, afectando de igual manera a las especies en estudio.

El incremento del IAF en invierno se debe al aumento de la temperatura a finales de mayo y principios de junio, que permitió el crecimiento. Este aumento de la temperatura fue acompañado de un aumento de las precipitaciones ocurridas en el mes de junio, que permitieron una notoria evolución del IAF compuesto por especies gramíneas espontáneas principalmente *Lolium multiflorum* y leguminosas como *Trifolium repens*.

Paspalum dilatatum al ser una especie cespitosa presenta un índice de área foliar óptimo mayor, lo que le permite acumular más materia seca (Bordaberry et al., 2017).

4.6.4. Evolución del IAF en *Paspalum notatum* cv. INIA Sepé

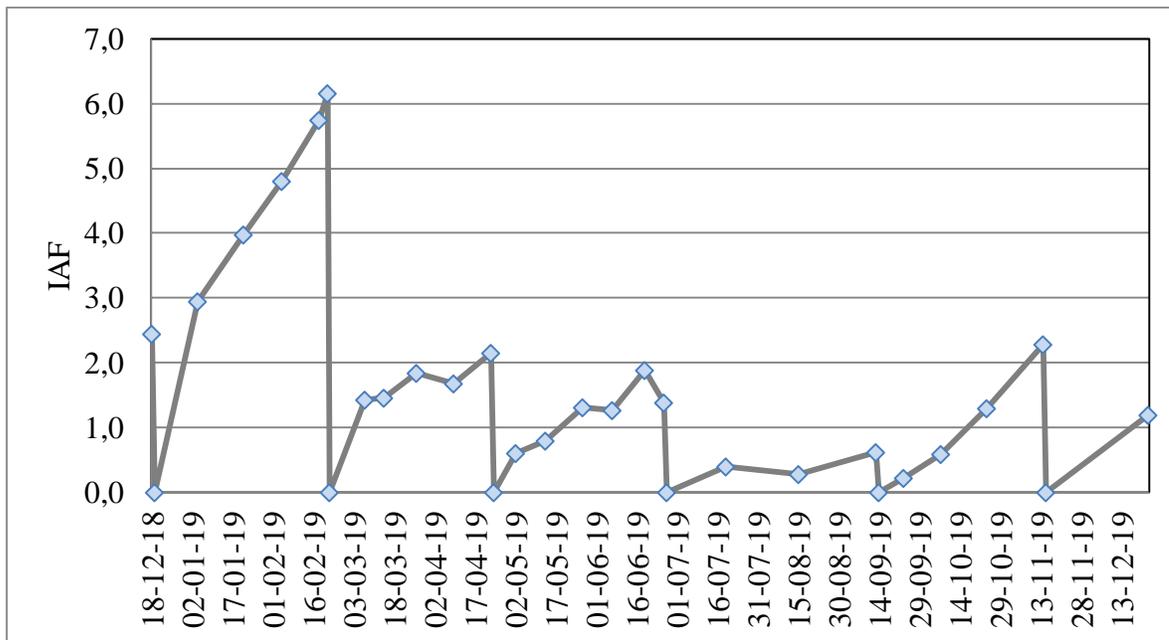


Figura No. 14. Evolución del índice de área foliar promedio en *Paspalum notatum*, diciembre 2018 a diciembre 2019

Paspalum notatum fue la especie que presentó mayor IAF (6,0), este valor coincide con el momento de mayor tasa de crecimiento durante la primavera y el verano por las mejores condiciones de temperatura y radiación sumado a las buenas condiciones hídricas.

Estos valores de IAF concuerdan con Carámbula (1997), quien dice que las gramíneas tienen mayor IAF por estructura y disposición de las hojas, se observa que durante la evaluación fueron valores superiores a uno, solo siendo menor en invierno.

4.7. EVOLUCIÓN DEL IAF ENTRE CORTES

Hogdson, citado por Deregibus (2007) afirma que luego de un corte el IAF comienza a incrementar a medida que aumenta el área fotosintética hasta establecerse en un óptimo que intercepta el 95% de la radiación incidente.

El área foliar se estabiliza al momento en que se acumula el máximo material fotosintético debido a que en este momento la tasa de producción y de muerte del material

vegetal (senescencia) se igualan (Hodgson y Carámbula, citados por Bordaberry et al., 2017).

Se demuestra para las cuatro pasturas comportamientos similares independientemente de la época del año o las condiciones hídricas, en concordancia a la afirmación anterior se distinguen tres etapas.

La primera etapa abarca los primeros 20 días post defoliación donde se observó la máxima tasa de incremento del IAF, este rápido incremento responde según Deregibus (2011b), a un incremento en la intensidad de la luz sobre tejidos potencialmente más activos, provocando un aumento de la tasa fotosintética acompañado por una redistribución de los nutrientes reservados priorizando el rebrote.

Las siguientes dos etapas comprenden desde los 20 días post corte hasta llegar al IAF previo al nuevo corte, en dichas etapas el crecimiento del área foliar tiene una menor pendiente esto se atribuye según Gardner, citado por Dotta y Quintero (2018), a que comienza la competencia a nivel de pastura principalmente por luz limitando así la tasa de crecimiento del cultivo.

Para cada período de corte, el máximo valor de IAF se registró constantemente previo al corte siguiente. Esto lleva a observar que la evolución del IAF no presenta momentos que se pueda estabilizar o hacerse asintótica en el tiempo. Esto se debe a que el período de tiempo entre cortes no fue lo suficiente para alcanzar el IAF óptimo.

Se observó que a lo largo de la evaluación los valores máximos alcanzados presentan variaciones, esto concuerda con lo presentado por Deregibus (2011a), quien afirma que el IAF óptimo no es constante todo el año, sino que presenta fluctuaciones, obteniendo los máximos en primavera-verano en vista a la mayor radiación incidente.

4.7.1. Relación entre el coeficiente simple del cultivo (Kc) y IAF

En las figuras No. 11, No. 12, No. 13 y No. 14 se presenta la evolución del IAF durante los diferentes períodos de crecimiento. Donde la curva de crecimiento del IAF de la pastura luego de cada corte tiende a ser lineal, por lo que se podría proponer de un uso lineal de tasa constante entre cortes para la elección del Kc simple.

Si se compara la evolución del IAF entre cortes con el comportamiento del Kc en forrajeras de Allen et al. (1998), se observó un comportamiento similar, luego del corte se registró el mínimo valor de IAF al igual que en la curva de Kc el valor es el mínimo utilizado (0,4), desde este momento el Kc y el IAF crecen constantemente hasta el próximo corte.

Las diferencias observadas entre ambas curvas están en relación con la evolución en los diferentes cortes, asociados a las distintas estaciones climáticas del año. Durante la

estación de crecimiento de cada especie las curvas de crecimiento son similares. Fuera de la estación de máximo crecimiento se observó un menor incremento del IAF, esto lleva a que la transpiración sea menor, por una menor cobertura vegetal aumentando la evaporación desde el suelo por tener menos cobertura.

4.8. INTERACCIONES ENTRE VARIABLES

En esta sección se vincula las variables cuantitativas medidas en cada pastura (kg MS. ha⁻¹, IAF y altura) para estudiar las relaciones que existen entre ellas. En base a esto se puede utilizar un modelo que, mediante determinaciones, como medir altura de la pastura se pueda determinar otras variables de más compleja medición como IAF y biomasa (MS), de forma simple.

4.8.1. Relación entre la materia seca (MS) y la altura (cm)

En las figuras No. 15, No. 16, No. 17 y No. 18 se observa la relación entre la altura de la pastura (cm) y la producción de biomasa (kg MS. ha⁻¹) para las cuatro pasturas en evaluación.

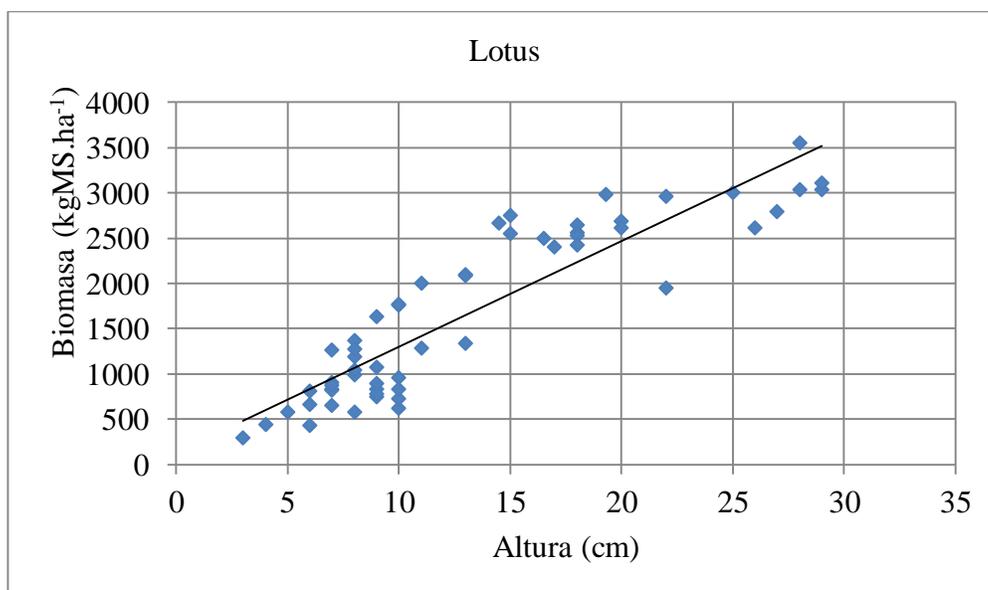


Figura No. 15. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) de *Lotus pedunculatus* cv. Maku bajo riego, en función de la altura (cm)

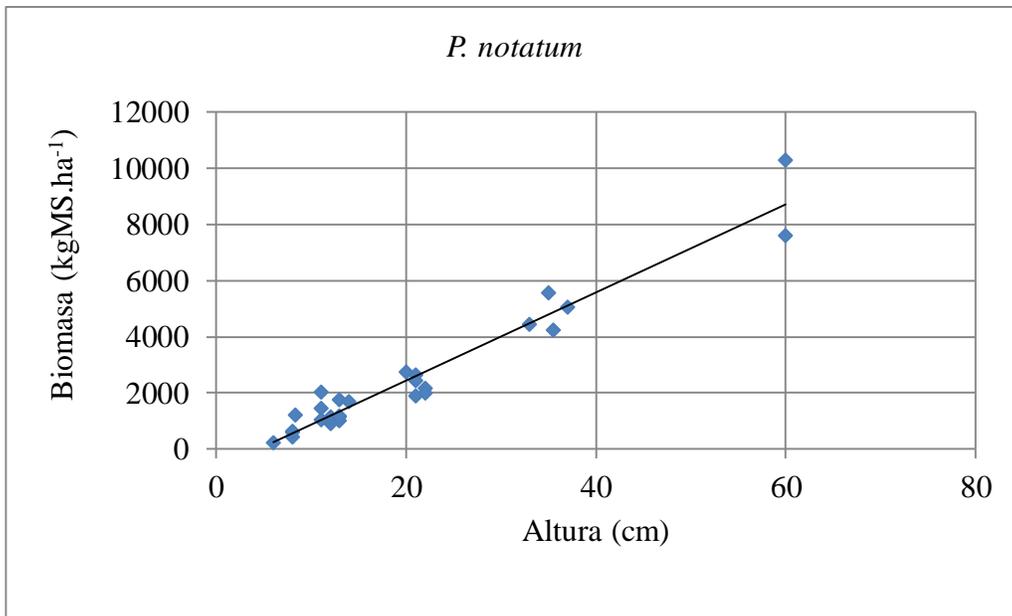


Figura No. 16. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) de *Paspalum notatum* bajo riego, en función de la altura (cm)

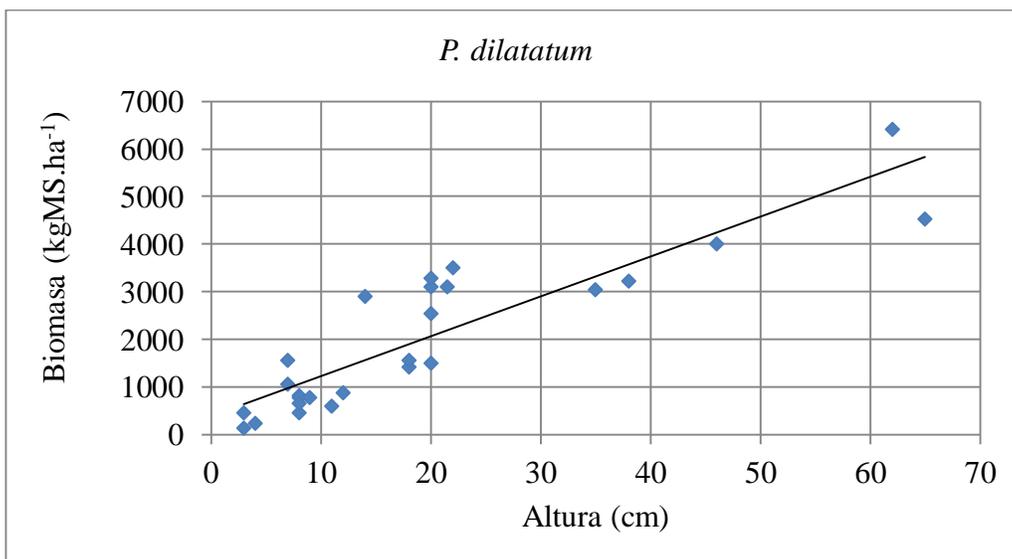


Figura No. 17. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) de *Paspalum dilatatum* bajo riego, en función de la altura (cm)

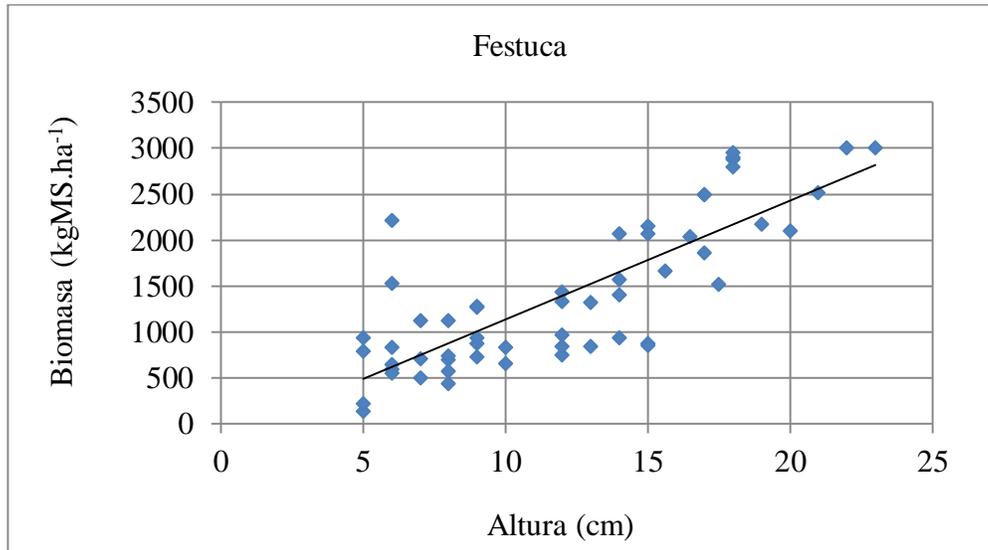


Figura No. 18. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) de *Festuca arundinacea* bajo riego, en función de la altura (cm)

Cuadro No. 12. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas bajo riego, para (Y) kg MS. ha⁻¹ en función de (x) altura (cm)

Especies	r ²	Ecuación	p-valor
Lotus	0,813	Y= 116,9 x+128,2	<0,0001
Festuca	0,650	Y= 129,4 x-161,7	<0,0001
<i>P. dilatatum</i>	0,795	Y= 83,92 x+381,4	<0,0001
<i>P. notatum</i>	0,913	Y= 156,9 x-706,8	<0,0001

En el cuadro No. 12, se observó en todas las especies estudiadas, relaciones lineales entre la altura de la pastura y la biomasa, con valores significativos del coeficiente de determinación.

La relación entre la biomasa y altura para las cuatro especies en estudio presentó un coeficiente de determinación entre 0,91 a 0,65, lo que indica que el modelo puede explicar entre un 91 y 65% de la variación entre las variables, presentando un p-valor altamente significativo (P<0,0001) en todos los casos.

Paspalum dilatatum fue el que registró mayor altura superando los 60 cm con producciones bajo riego mayores a 6000 kg MS. ha⁻¹. La menor altura se dio en festuca no llegando a superar los 25 cm con producciones máximas de 3000 kg MS. ha⁻¹.

En cuanto a producción *Paspalum notatum* mostró el mayor rendimiento bajo riego superando los 10000 kg MS. ha⁻¹.

Paspalum notatum fue la especie que mostró mayor incremento en biomasa ante el aumento en altura, incrementando en 156,9 kg MS.ha⁻¹ por cada centímetro, seguido por la festuca con 129,4 kg MS.ha⁻¹, lotus 116,9 kg MS.ha⁻¹ y la mínima respuesta se vio en *Paspalum dilatatum* con 83,92 kg MS.ha⁻¹.

Festuca y lotus mostraron respuestas similares a las registradas por Montossi et al. (2013), con incrementos de 164,04 kg MS.ha⁻¹ y 134,1 kg MS.ha⁻¹ por cada cm de aumento en la altura.

4.8.2. Relación entre la biomasa (MS) y el índice de área foliar

En las figuras No. 19, No. 20, No. 21 y No. 22 se muestra la relación entre la biomasa (kg MS. ha⁻¹) y el índice de área foliar en las pasturas evaluadas.

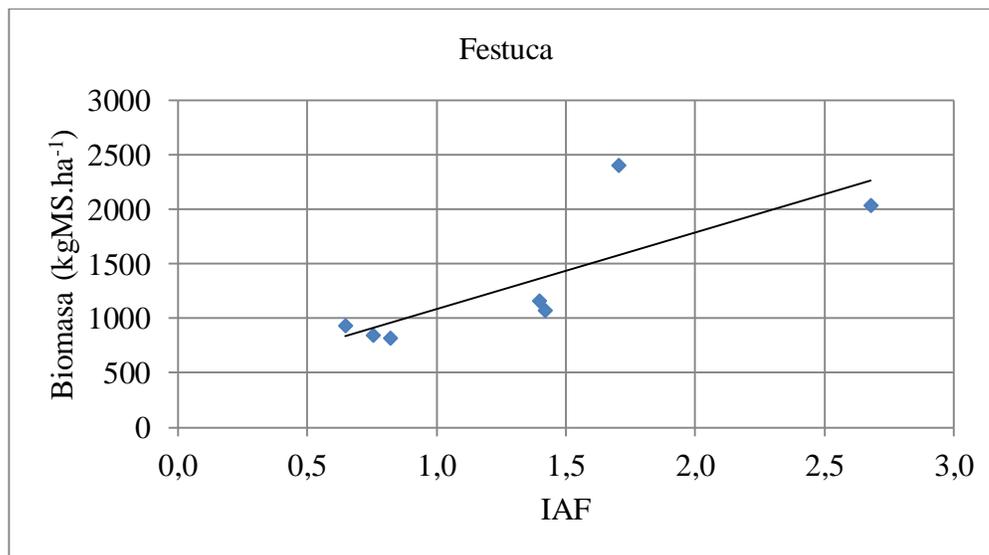


Figura No. 19. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) en función del índice de área foliar, para *Festuca arundinacea*

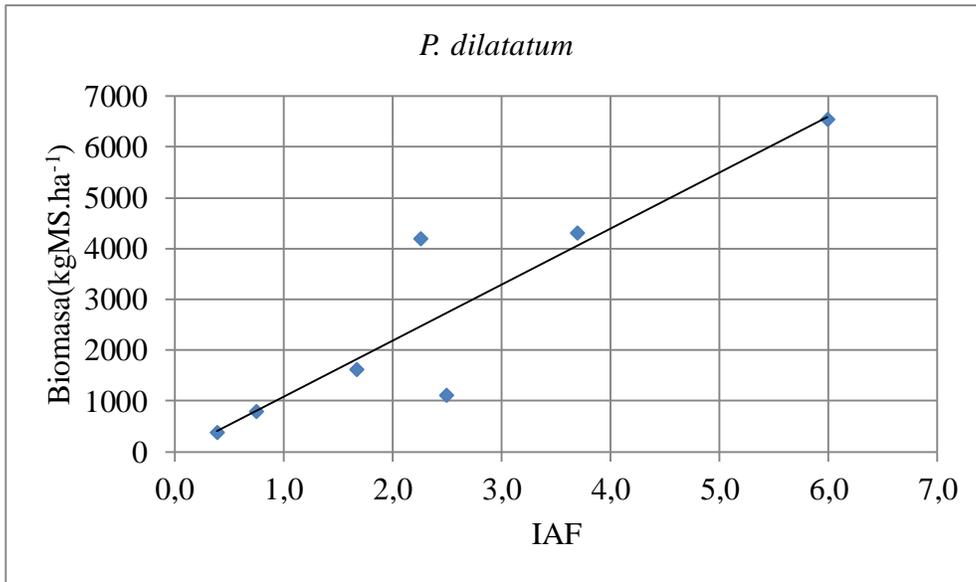


Figura No. 20. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) en función del índice de área foliar, para *Paspalum dilatatum*

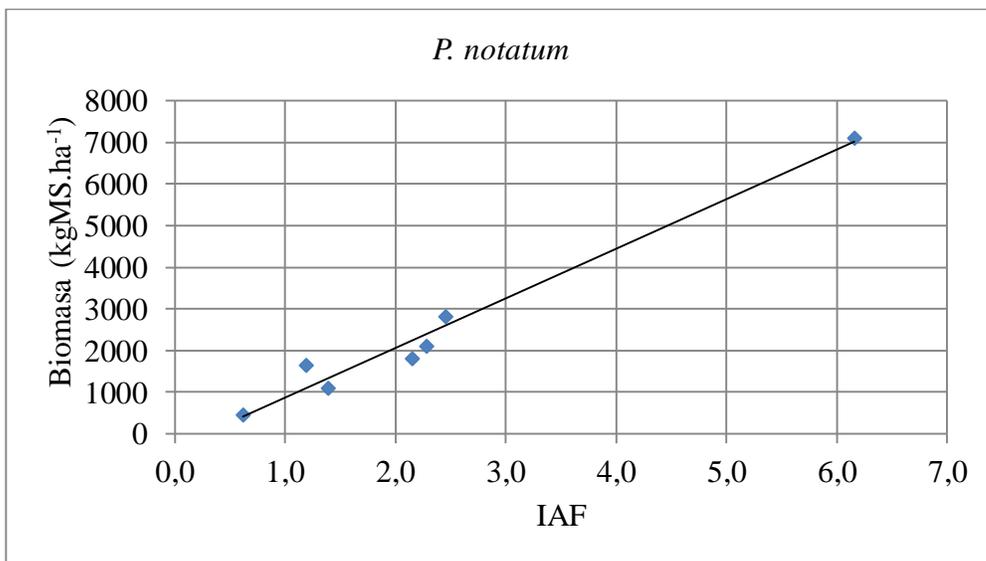


Figura No. 21. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) en función del índice de área foliar, para *Paspalum notatum*

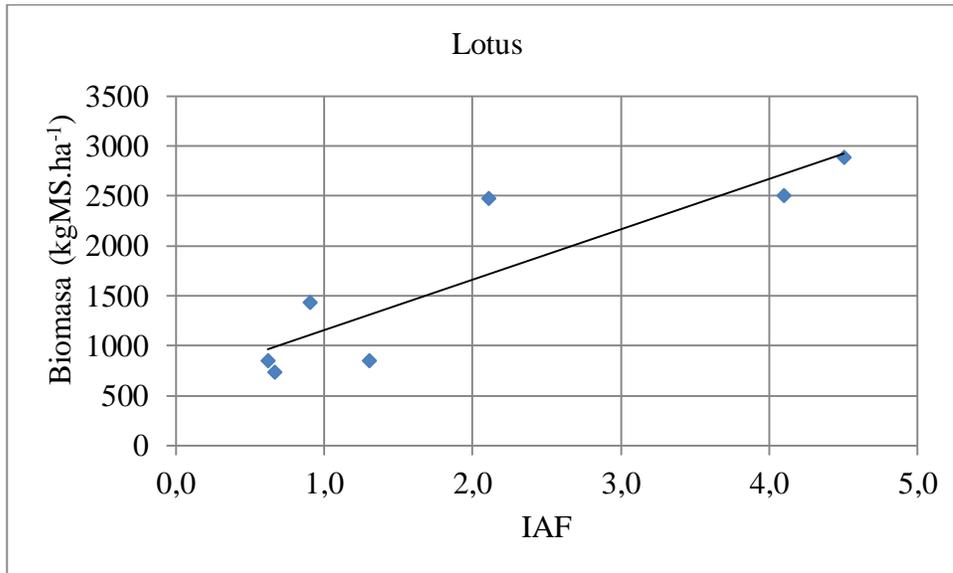


Figura No. 22. Relación entre la materia seca (kg MS. ha⁻¹) en función del índice de área foliar, para *Lotus pedunculatus* cv. Maku

Cuadro No. 13. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas para la biomasa (kg MS. ha⁻¹) en función del índice de área foliar (IAF)

Especies	r ²	Ecuación	p-valor
Lotus	0,801	Y= 504,6 x+650,5	0,0066
Festuca	0,626	Y= 702,5 x+378,1	0,0354
<i>P. dilatatum</i>	0,823	Y= 1102 x-18,55	0,0045
<i>P. notatum</i>	0,976	Y= 1192 x-330,1	<0,0001

Se observó para las cuatro especies una relación lineal entre las variables biomasa y IAF (cuadro No. 13). Los modelos presentados se ajustaron en todas las especies con un coeficiente de determinación entre 0,626 y 0,976.

A medida que aumenta el IAF se ve incrementada la producción de materia seca, presentando muy buenos valores de correlación, esto es explicado porque a mayor IAF se logra cubrir mejor el suelo, permitiendo así una mayor intercepción de la radiación por parte de la pastura derivando en un aumento de la tasa fotosintética produciendo más biomasa.

De acuerdo con Williams, citado por Bordaberry et al. (2017), la eficiencia fotosintética de las pasturas depende de la estructura de las pasturas. Se puede observar dentro del género *Paspalum*, tanto *dilatatum* como *notatum* alcanzaron el IAF máximo en torno a (6). La diferencia entre ambos se encuentra en la producción de biomasa, donde

notatum produjo 590 kg MS.ha⁻¹ más que dilatatum con el mismo IAF máximo, bajo estas condiciones de manejo y riego.

De los cuatro modelos presentados el que mayor ajuste tiene es el de *Paspalum notatum*, con un coeficiente de determinación del 97% y altamente significativo ($P < 0.0001$).

4.8.3. Relación entre el índice de área foliar y la altura de la pastura

En las figuras No. 23, No. 24, No. 25 y No. 26 se observa la relación entre la altura de las pasturas y el índice de área foliar, estimando un modelo que describe la relación entre estas dos variables.

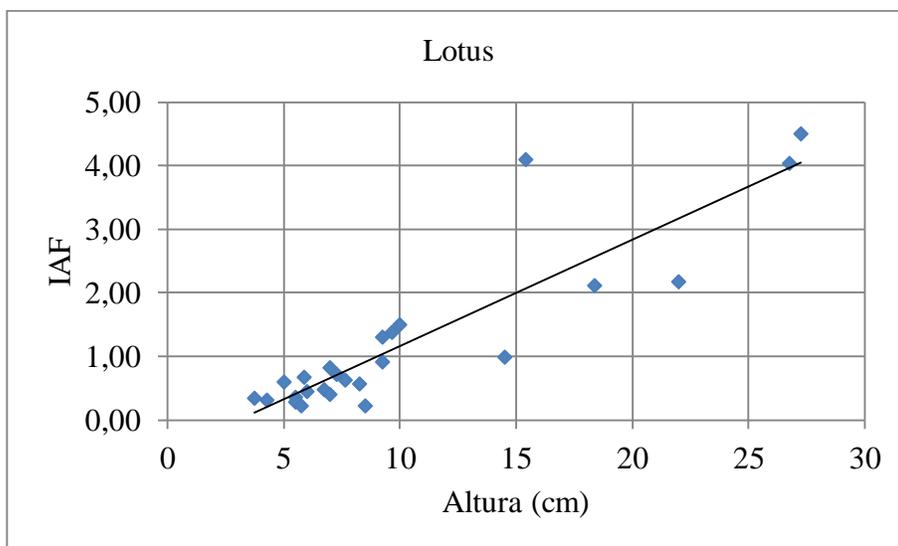


Figura No. 23. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para *Lotus pedunculatus* cv. Maku bajo riego

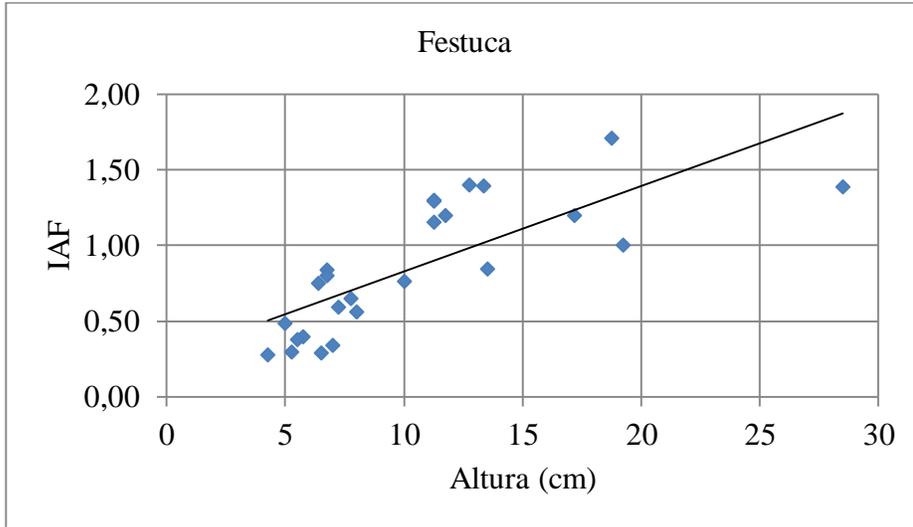


Figura No. 24. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para *Festuca arundinacea* bajo riego

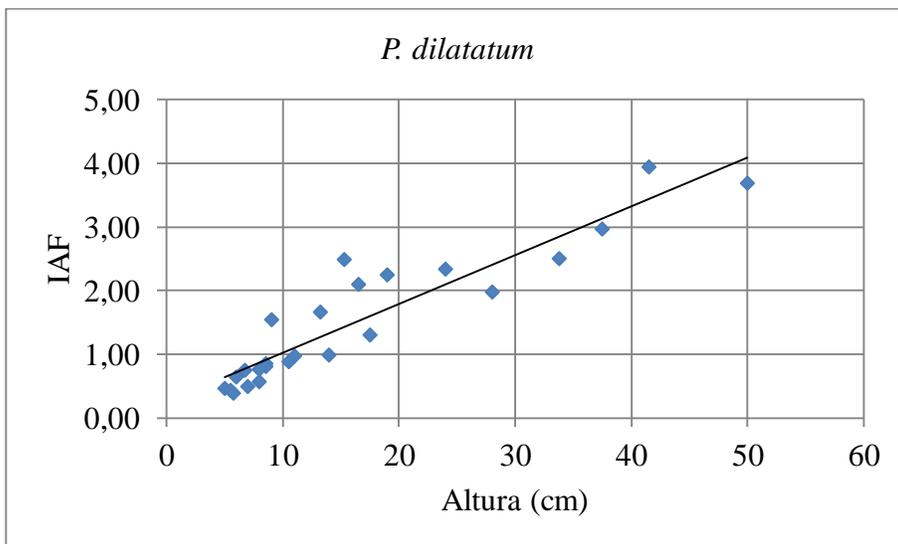


Figura No. 25. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para *Paspalum dilatatum* bajo riego

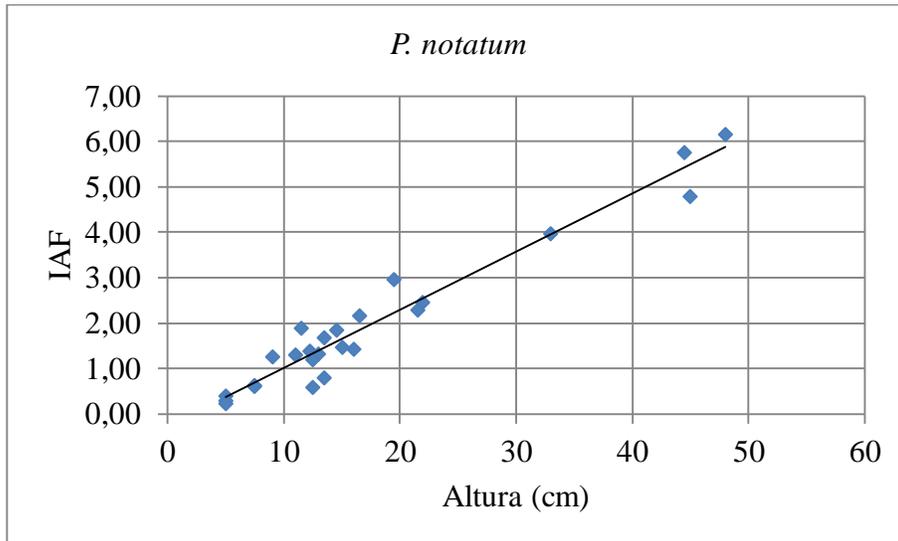


Figura No. 26. Relación entre el índice de área foliar en función de la altura de la pastura, para *Paspalum notatum* bajo riego

Cuadro No. 14. Ajuste de los modelos de regresión para las diferentes pasturas para el índice de área foliar (IAF) en función de la altura de la pastura

Especies	r ²	Ecuación	p-valor
Lotus	0,794	Y= 0,164 x-0,501	<0,0001
Festuca	0,576	Y= 0,056 x+0,260	<0,0001
<i>P. dilatatum</i>	0,855	Y= 0,076 x+0,253	<0,0001
<i>P. notatum</i>	0,948	Y= 0,128 x-0,276	<0,0001

Se observó al igual que en las demás variables analizadas anteriormente una relación lineal entre el IAF y altura, presentando buenos valores de correlación y significancia entre las variables.

El coeficiente de determinación para los modelos fue entre 0.576 y 0.948, el cual describe de muy buena manera la interacción entre el IAF y la altura siendo una relación altamente significativa (P<0,0001).

Festuca fue la especie que presentó menores incrementos en IAF por cada aumento en altura, mientras que *Paspalum notatum* y lotus presentan por la mayor respuesta en IAF al incremento en altura, esto puede deberse a las características morfológicas y fisiológicas de cada especie.

5. CONCLUSIONES

Las diferencias en producción total de forraje de las pasturas estuvieron asociadas al metabolismo fotosintético (C3 vs C4). *Paspalum notatum* fue la pastura que obtuvo la mayor producción durante la evaluación seguida por *Paspalum dilatatum*, *Lotus pedunculatus* y por último *Festuca arundinacea* con el menor rendimiento.

En los cortes correspondientes al período primavera-estival se registraron las mayores tasas de crecimiento para las cuatro pasturas en estudio, dentro de las mismas *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum* presentaron los registros de tasa de crecimiento más altas.

En el caso del crecimiento entre los cortes, en casi todas las especies estudiadas bajo riego, se observó un incremento lineal del IAF, lo que podría relacionarse con un incremento también lineal del Kc, utilizado en la estimación de las necesidades de riego entre cortes sucesivos.

Festuca arundinacea y *Lotus pedunculatus* fueron las pasturas con mayor presencia de especies espontáneas, mientras que *P. notatum* presentó escaso de especies espontáneas.

Paspalum notatum y *Paspalum dilatatum* registraron los mayores valores de IAF principalmente en el período estival disminuyendo la cobertura durante el resto del año, festuca y lotus mostraron un área foliar más estable en las diferentes estaciones.

Las interacciones IAF*altura, biomasa*IAF y biomasa*altura se ajustan a una relación lineal con un grado de significancia alto para las cuatro especies en estudio.

6. RESUMEN

Como objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento productivo y la evolución estacional de diferentes variables que componen la pastura bajo riego suplementario, se utilizaron cuatro especies: *Festuca arundinacea*, *Lotus pedunculatus*, *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum*. El riego fue implementado únicamente en el período estival toda vez que la evapotranspiración acumulada superó los 50 mm. El experimento se realizó en el establecimiento “El Junco” en el departamento de Salto (Uruguay) 31°11'23.74" S, y 57°22'39.15" O, en un suelo que pertenece a la unidad Itapebí-Tres Árboles. Con suelos como Vertisoles Háplicos y Brunosoles Éútricos Típicos. El período experimental comprendió del 18/12/2018 hasta el 23/12/2019. La producción anual de biomasa por parcela fueron: *Festuca arundinacea* 9041 kgMS.ha⁻¹.año⁻¹, *Lotus pedunculatus* 11719 kgMS.ha⁻¹.año⁻¹, *Paspalum dilatatum* 14439 kgMS.ha⁻¹.año⁻¹, *P. notatum* 17051 kgMS.ha⁻¹.año⁻¹. La composición botánica de *Festuca arundinacea* y *Lotus pedunculatus* tuvo una alta contribución de especies espontáneas, mientras que *Paspalum notatum* fue la pastura que se mantuvo más pura. La máxima cobertura y producción de área foliar se vio en *Paspalum dilatatum* y *Paspalum notatum* ocurriendo fundamentalmente en el período estival. Se determinó una relación positiva y lineal para las interacciones de las variables IAF*altura, IAF*biomasa y altura*biomasa para las 4 especies en evaluación.

Palabras clave: Pastura; Riego suplementario; IAF.

7. SUMMARY

The aim of this project is to evaluate the productive behavior and seasonal development of different variables which the pasture has using supplementary watering. Four species were used: *Festuca arundinaceae*, *Lotus pedunculatus*, *Paspalum dilatatum* and *Paspalum notatum*. This watering was implemented only during summer when accumulated evapotranspiration was over 50 mm. This experiment was carried out on farm called “El Junco”, in Salto, Uruguay 31°11'23.74” S, and 57°22'39.15” O, this land which belongs to Itapebi-Tres Árboles, has characteristic soil such as Vertisoles Háplicos and typical Brunosoles Eutricos. Such experiment was hold from 12/18/2018 to 12/23/2019. The biomass annual production was: *Festuca arundinaceae* 9041 kgMS.ha⁻¹.year⁻¹, *Lotus pedunculatus* 11719 kgMS.ha⁻¹.year⁻¹, *Paspalum dilatatum* 14439 kgMS.ha⁻¹.year⁻¹, *Paspalum notatum* 17059 KgMS.ha⁻¹.year⁻¹. The botanic composition of *Festuca arundinaceae* and *Lotus pedunculatus* had high contribution to spontaneous species, while *Paspalum notatum* kept the purest. The maximum leaf area coverage and production was seem in *Paspalum dilatatum* and *Paspalum notatum* during the summer period. A positive and linear relationship was determined for the variables IAF*height, IAF*biomass and height*biomass for the four species to evaluate.

Key words: Pasture; Supplementary watering; IAF.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alencar, C.; De Oliveira, R.; Martins, C. E.; Cóser, A. C.; Aguiar, J. L.; Franca Da Cunha, 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.
2. Allen, R.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Evapotranspiración del cultivo. Roma, FAO. 298 p. (FAO. Riego y Drenaje no. 56).
3. Álvarez, A. 1985. Manejo de cortes y fertilización nitrogenada en semilleros de *Paspalum dilatatum*. Tesis Ing. Agr. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 114 p.
4. Arane, L.; Couto, P.; Fontán, M. 2018. Informe sobre riego en Uruguay. Montevideo, MGAP. DIEA. 41 p. (Trabajos Especiales no. 354).
5. Arce, M.; Fernández, P.; Riccetto, S. 2013. Respuesta estival de *Festuca arundinacea*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum* y *Pennisetum purpureum cv Mottal* riego suplementario. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 97 p.
6. Ayala, W. Y.; Carámbula, M. 1996. Mejoramientos extensivos en la región Este: implantación y especies. In: Risso, D. F.; Berreta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. 169-175 (Serie Técnica no. 80).
7. _____. Bemhaja, M.; Cetro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Catálogo de cultivares 2010: forrajeras. Montevideo, INIA. pp. 60-63.
8. Barnes, R.; Miller, D.; Nelson, C. 1995. Forages. In: Barnes, R.; Miller, D.; Nelson, C. eds. Forages: an introduction to grassland agriculture. 5th. ed. Ames, Iowa, Iowa State University. v.1, pp. 346-516.
9. Bemhaja, M. 1996. Producción de pasturas en Basalto. In: Risso, D. F.; Berreta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay. INIA. pp. 231-240 (Serie Técnica no. 80)
10. _____. 1998a. Mejoramiento de campo en Basalto profundo evaluación de leguminosas: géneros, especies y variedades. In: Seminario de

Actualización en Tecnologías Para Basalto (1º., 1998, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay. INIA. pp. 33-41 (Serie Técnica no. 102).

11. _____. 1998b. Respuesta a la fertilización nitrogenada de campo natural en Basalto profundo. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur, Grupo Campos (14º., 1998, Montevideo). Anales. Montevideo, INIA. pp. 19-122 (Serie Técnica no. 94).
12. Boggiano, P.; Zanoniani, R.; Cadenazzi, M.; Giménez, L.; Formoso, D.; Aguirre, S.; Irazabal, N.; Otegui, I.; Arce, M.; Fernández, P.; Riccetto, S. 2014. Evaluación de la respuesta al riego suplementario de gramíneas perennes durante el período estival. In: Giménez, L. ed. Riego suplementario en cultivos y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 29-41 (FPTA no. 55).
13. Bordaberry Methol, A.; Regules Zubillaga, E.; Rodríguez Schauricht, D. 2017. Efecto de la historia de frecuencia de pastoreo sobre la producción de campo natural. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 97 p.
14. Bourdin Medici, A.; Franco Fraguas Souto, J.; Burgos Valiente, M. 2015. Respuesta física al riego suplementario y desarrollo de tecnologías de riego por melgas en pasturas artificiales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 68 p.
15. Brougham, R. W. 1956. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*. 7:377-387.
16. Burson, B. L.; Watson, V. H. 1995. Bahiagrass, Dallisgrass, and other Paspalum species. In: Barnes, R.; Miller, D.; Nelson, C. eds. Forages: an introduction to grassland agriculture. 5th. ed. Ames, Iowa, Iowa State University. v.1, pp. 431-462.
17. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 464 p.
18. _____.; Ayala, W. Y.; Carriquiry, E. 1994. *Lotus pedunculatus*: adelantos sobre una forrajera que promete. Montevideo, INIA. 13 p. (Serie Técnica no. 45).
19. _____. 1997. Pasturas naturales mejoradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 524 p.

20. _____. 2002. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 1, 357 p.
21. Cardozo, G.; Marchelli, J. P. 2017. Pasto y carne en pasturas regadas. In: Formoso, D.; García, C. eds. Producción intensiva de carne en pasturas regadas con pivot central. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 13-20 (Serie Técnica no. 231).
22. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
23. Coll, J. 1991. Producción de semilla de *Paspalum dilatatum*. Montevideo, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 4).
24. Cooper, J. P.; Taiton, N. M. 1968. Light and temperature requirements for the growth of tropical grasses. *Herbage Abstracts*. 38(3):167-176.
25. Deregibus, V. A. 2011a. Bases para la utilización de ecosistemas pastoriles. In: Pezzani, F.; Lezama, F. eds. Módulo de pasturas: selección de lecturas 2011. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 57-79.
26. _____. 2011b. La planta forrajera. In: Pezzani, F.; Lezama, F. eds. Módulo de pasturas: selección de lecturas 2011. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 39-52.
27. Dotta Suárez, S.; Quintero Zubillaga, M. J. 2018. Determinación de la curva de crecimiento de intercepción de luz de diferentes pasturas sembradas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 101 p.
28. Durán, A. 1985. El medio ambiente. In: Los suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 47-64.
29. Failde, A.; Peixoto, C.; Estol, E.; Preve, A. 2013. Estudio sobre riego agropecuario en Uruguay. Anuario OPYPA 2013:s.p.
30. Formoso, D.; Colucci, P. E. 2008. Productividad de mejoramientos de campo natural en Cristalino central, Uruguay. In: Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur, Grupo Campos (22º., 2008, Minas, UY). Biomasa Campo: innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad. Minas, s.e. pp. 312-313.

31. _____.; Norbis, H. 2014. El riego de pasturas en la producción animal. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (3°, 2014, Paysandú, UY). Trabajos presentados. Paysandú, s.e. pp. 96-108.
32. Formoso, F. 1983. Producción de forraje, digestibilidad y proteína de gramíneas subtropicales en suelos arenosos y rastros de arroz en la región Noreste de Uruguay. Investigaciones Agronómicas. no. 4:38- 45.
33. _____. 2010. *Festuca arundinacea*, manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. 183 p. (Serie Técnica no. 182).
34. García Petillo, M. 2012. Conceptos básicos para el diseño y el manejo del riego. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2°, 2012, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 25-32.
35. _____.; García, C.; Bonino, C.; Arrieta, I.; Delgado, D.; Camio, G. 2014. Generación de tecnología para el diseño de riego por melgas, adaptada a las condiciones del Uruguay: primer aporte. In: García Petillo, M.; Boggiano, P.; Piedrabuena, L. eds. Respuesta física y económica al riego suplementario en cultivos y pasturas y desarrollo de la tecnología de riego por superficie en siembra directa. Montevideo, INIA. pp. 45-58 (FPTA no. 55).
36. Garrigues, S.; Shabanov, N. V.; Swanson, K.; Morisette, J. T.; Baret, F.; Myneni, R. B. 2008. Intercomparison and sensitivity analysis of Leaf Area Index retrievals from LAI-2000, AccuPAR, and digital hemispherical photography over croplands. (en línea). Agricultural and Forest Meteorology. 148(8-9):1193 –1209. Consultado 15 oct. 2020. Disponible en <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=nasapub>
37. Giménez, L.; Böcking, B.; García Petillo, M.; García, C.; Sawchik, J. 2010. Prólogo: marco de referencia de seminario. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (1°, 2010. Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 3-4.
38. _____. 2012. ¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay? In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2°, 2012, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 35-42.

39. Giorello, D.; Jaurena, M.; Boggiano, P.; Pérez Gomar, E. 2012. Respuesta al riego suplementario en pasturas y forrajes. *In*: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2º., 2012. Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 45-54.
40. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2019. INIA Sepé: una forrajera nativa de alta productividad y persistencia. (en línea). *In*: Jornada de *Paspalum notatum* INIA Sepé (2019, Tambores). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-4. Consultado 24 ago. 2020. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12537/1/Repartido-presentacion-INIA-Sepe.pdf>
41. Kaiser, C. J.; Heath, M. E. 1990. Big Trefoil: a new legume for pastures on frangipan soils. *In*: Janick, J.; Simon, J. E. eds. Advances in new crops. Portland, OR, Timber. pp. 191-194.
42. Mansfield, C. W.; Mislevy, P.; Hammond, L. C. 1990. Yield and nutritive value of forages grown under irrigated and non irrigated conditions. *Tropical Grasslands*. 24:55-60.
43. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripción de suelos. Montevideo, Uruguay. t. 3, 452 p.
44. Maranges, F.; Nolla, F.; Sotelo, D. 2019. Catálogo de forrajeras 2019. Montevideo, INIA. 31 p.
45. 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 (1º., Paysandú, Uruguay). Posibilidades de aplicación de riego suplementario. Montevideo, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. pp. 1-2.
46. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). 2015. Estrategia de fomento del desarrollo de la agricultura regada en Uruguay: resumen ejecutivo. 38 p.
47. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2012. Censo general agropecuario 2011. Montevideo. 142 p.

48. _____. _____. 2017. Anuario estadístico agropecuario 2017. (en línea). Montevideo. 214 p. Consultado 18 ago. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/diea-anuario2017web01a.pdf>
49. _____. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias, UY). 2016. Anuario OPYPA 2016. Montevideo. 580 p.
50. Molfino, J. H.; Califra, A. 2001. Agua disponible en las tierras del Uruguay: segunda aproximación. Montevideo, MGAP. DGRNR. División Suelos y Aguas. 12 p.
51. Montossi, F. 1994. Evaluación del efecto de los taninos condensados sobre la producción ovina. *In*: Jornada Unidad Experimental GLENCOE (1994, Paysandú). Pasturas y producción animal en basalto. Tacuarembó, Uruguay, INIA. pp. 33-39 (Actividades de Difusión no. 37).
52. _____.; Pravia, M. I.; Dighiero, A.; Porcile, V.; Gutiérrez, D.; De Barbieri, I. 2013. Estimaciones indirectas de la cantidad de forraje para una mejor gestión de nuestras pasturas. *Revista INIA*. no. 34:34-38.
53. Nabinger, C. 1998. Princípios de manejo e produtividade de pastagens. Bagé, Rio Grande do Sul, UFRGS. 20 p.
54. Otero, Á. 2017. Aplicaciones de modelos de balance hídrico de suelos en Uruguay. *In*: Otero, Á.; Montoya, F.; García, C. eds. Programación del riego. Montevideo, INIA. pp. 17-29 (Serie Técnica no. 232).
55. Pereira, L.; Valero J. A.; Picornell, M. R.; Tarjuelo, J. M. 2010. El riego y sus tecnologías (en línea). Albacete, ES, CREA/UCLM. 296 p. Consultado 15 abr. 2020. Disponible en http://crea.uclm.es/crea/descargas/files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
56. Pinto, J. C.; Rodríguez, N. 1989. Avaliação de plantas e progenies de *Lotus corniculatus* L.E. e *Lotus uliginosus*. Anuario Técnico do Instituto de Pesquisas Zootécnicas "Francisco Osorio" 14:114 - 197.

57. Pizarro, E. 2002. Potencial forrajero del género *Paspalum*. *Pasturas Tropicales*. 22 (1):38-46.
58. Rosengurtt, B.; Arrillaga, B.; De Maffei, B.; Izaguirre De Artucio, P. 1970. Gramíneas uruguayas. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. 489 p.
59. Saldanha, S.; Viega, L.; Speranza, P. 2017. Comparación productiva de tres especies de *Paspalum* en Uruguay. In: Speranza, P. ed. Utilización y domesticación de gramíneas forrajeras del género *Paspalum* en Uruguay. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 11-15 (FPTA no. 61).
60. Sawchik, J.; Mas, C.; Pérez Gomar, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D.; Ayala, W. 2010. Riego suplementario en pasturas: antecedentes de investigación nacional. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (1°, 2010, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 144-153.
61. _____. 2012. Necesidades de riego en cultivos y pasturas. In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2°, 2012, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 57-68.
62. Velasco-Zebadúa, M. E.; Hernández-Garay, A; González-Hernández, G. 2002. Curvas estacionales de crecimiento de Ballico Perenne. *Revista de Fitotecnia de México*. 35:97-106.
63. Volesky, J. D.; Anderson, B. E.; Nichols, J. T. 2003. Perennial forages for irrigated pasture. (en línea). Lincoln, Nebraska, University of Nebraska. s.p. (NebGuide G1502). Consultado jul. 2020. Disponible en <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1502.pdf>

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Análisis de regresión materia seca por altura

- *Paspalum dilatatum* (materia seca por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	26	0,80	0,79	688308,14	420,40	424,17

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	378,87	221,32	-77,91	835,64	1,71	0,0998		
Altura	83,98	8,66	66,11	101,84	9,70	<0,0001	94,14	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	49888108,30	1	49888108,30	94,14	<0,0001
Altura	49888108,30	1	49888108,30	94,14	<0,0001
Error	12719009,86	24	529958,74		
Total	62607118,15	25			

- *Paspalum notatum* (materia seca por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	28	0,94	0,94	511255,03	438,73	442,72

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	-699,66	186,87	-1083,78	-315,54	-3,74	0,0009		
Altura	156,50	7,62	140,83	172,16	20,53	<0,0001	421,52	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F.	p-valor
Modelo	136880123,26	1	136880123,26	421,52	<0,0001
Altura	136880123,26	1	136880123,26	421,52	<0,0001
Error	8442990,17	26	324730,39		
Total	145323113,43	27			

- *Festuca arundinacea* (materia seca por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	55	0,65	0,64	252525,74	840,12	846,14

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	154,14	169,89	-494,91	186,62	-0,91	0,3684		
Altura	128,50	13,01	102,40	154,60	9,88	<0,0001	97,53	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	22866997,88	1	22866997,88	97,53	<0,0001
Altura	22866997,88	1	22866997,88	97,53	<0,0001
Error	12426004,23	53	234452,91		
Total	35293002,11	54			

- *Lotus pedunculatus* (materia seca por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	56	0,82	0,81	173768,22	834,64	840,72

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI.(95%)	LS.(95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	25,19	113,76	-102,89	353,26	1,10	0,2760		
Altura	117,81	7,58	101,88	132,25	15,45	<0,0001	238,81	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	38699982,58	1	38699982,58	238,81	<0,0001
Altura	38699982,58	1	38699982,58	238,81	<0,0001
Error	8750786,26	54	162051,60		
Total	47450768,84	55			

Anexo No. 2. Análisis de regresión (IAF por altura)

- *Lotus pedunculatus* (IAF por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
IAF	25	0,78	0,77	0,43	49,22	52,88

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	-0,53	0,22	-0,99	-0,06	-2,34	0,0283		
Altura	0,17	0,02	0,13	0,21	9,09	<0,0001	82,64	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	29,64	1	29,64	82,64	<0,0001
Altura	29,64	1	29,64	82,64	
Error	8,25	23	0,36		
Total	37,88	24			

- *Paspalum dilatatum* (IAF por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
IAF	25	0,85	0,85	0,20	29,86	33,51

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	0,25	0,14	-0,03	0,53	1,82	0,0819		
Altura	0,08	0,01	0,06	0,09	11,53	<0,0001	132,91	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	21,96	1	21,96	132,91	<0,0001
Altura	21,96	1	21,96	132,91	<0,0001
Error	3,80	23	0,17		
Total	25,77	24			

- *Paspalum notatum* (IAF por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
IAF	25	0,95	0,95	0,17	25,96	29,62

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	-0,31	0,13	-0,58	-0,03	-2,3	0,0304		
Altura	0,13	0,01	0,12	0,14	20,63	<0,0001	425,74	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	60,21	1	60,21	425,74	<0,0001
Altura	60,21	1	60,21	425,74	<0,0001
Error	3,25	23	0,14		
Total	63,47	24			

- *Festuca arundinacea* (IAF por altura)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
IAF	25	0,56	0,54	0,12	12,59	16,25

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	0,27	0,12	0,02	0,52	2,22	0,0363		
Altura	0,06	0,01	0,03	0,08	5,44	<0,0001	29,54	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	2,45	1	2,45	29,59	<0,0001
Altura	2,45	1	2,45	29,59	<0,0001
Error	1,91	23	0,08		
Total	4,36	24			

Anexo No. 3. Análisis de regresión IAF por materia seca

- *Lotus pedunculatus* (IAF por materia seca)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	7	0,80	0,76	311523,16	109,11	108,95

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	651,28	286,04	-84,00	1386,57	2,28	0,0718		
IAF	504,30	113,04	213,72	794,88	4,46	0,0066	19,90	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	4072667,00	1	4072667,00	19,90	0,0066
AF	4072667,00	1	4072667,00	19,90	0,0066
Error	1023172,42	5	204634,48		
Total	5095839,43	6			

- *Paspalum dilatatum* (IAF por materia seca)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	7	0,83	0,79	1526355,55	120,96	120,80

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	-29,49	683,56	-1786,65	1727,66	-0,04	0,9673		
IAF	1101,93	224,72	524,27	1679,59	4,90	0,0045	24,05	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	26730993,70	1	26730993,70	24,05	0,0045
IAF	26730993,70	1	26730993,70	24,05	0,0045
Error	5558469,16	5	1111693,83		
Total	32289462,86	6			

- *Paspalum notatum* (IAF por materia seca)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj.	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	7	0,98	0,97	408692,38	106,52	106,36

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const.	-334,96	242,16	-957,45	287,53	-1,38	0,2252		
IAF	1182,73	83,71	967,54	1397,91	14,13	<0,0001	199,62	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	28196688,20	1	28196688,20	199,62	<0,0001
IAF	28196688,20	1	28196688,20	199,62	<0,0001
Error	706243,80	5	141248,76		
Total	28902932,00	6			

- *Festuca arundinacea* (IAF por materia seca)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP.	AIC.	BIC.
Kg.MS.Ha ⁻¹	7	0,62	0,54	400500,40	108,26	108,10

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E.E.	LI. (95%)	LS. (95%)	T	p-valor	Cp. Mallows	VIF.
Const	397,53	361,45	-531,62	1326,67	1,10	0,3215		
IAF	689,50	241,05	69,87	1309,13	2,86	0,0354	8,18	1,00

Cuadro de análisis de la varianza (SC. tipo III)

F.V.	SC.	gl.	CM.	F	p-valor
Modelo	1481923,64	1	1481923,64	8,18	0,0354
IAF	1481923,64	1	1481923,64	8,18	0,0354
Error	905576,08	5	181115,22		
Total	2387499,71	6			