

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE PERSISTENCIA EN MEZCLAS FORRAJERAS CON  
COMPONENTES PERENNES ESTIVAL E INVERNAL EN EL NORTE DEL PAÍS**

**por**

**Joaquín ALONSO DELGUE  
Juan DAMACENA CORCOLL  
Matías MATTEI MACHÍN**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

---

Ing. Agr. Federico Pintos

Tribunal:

---

Ing. Agr. PhD Laura Astigarraga

---

Ing. Agr. Mag Ricardo Rodríguez Palma

---

Ing. Agr. Mag Diego Michelini

Fecha: 20 de diciembre de 2024

Estudiantes:

---

Joaquín Nicolás Alonso Delgue

---

Juan Gabriel Damacena Corcoll

---

Matías Antonio Mattei Machín

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director de tesis Ing. Agr. Federico Pintos por la guía en todas las etapas de la realización de este trabajo.

A la Ing. Agr. Celmira Saravia por la buena disposición a la hora de brindarnos información necesaria.

A Alfredo Hernández, funcionario de la facultad de agronomía, por la ayuda y disposición para la colección de datos.

Al tribunal de evaluación compuesto por Ing. Agr. Ricardo Rodríguez, Ing. Agr. Diego Michelini e Ing. Agr. Laura Astigarraga.

A nuestras familias y amigos, por el apoyo incondicional en todo el transcurso de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 MEZCLAS FORRAJERAS.....	12
2.1.1 Dinámica de mezclas forrajeras.....	12
2.1.2 Producción y distribución estacional de las pasturas mezcla.....	13
2.1.3 Estructura de gramíneas invernales.....	13
2.1.4 Modificación a las mezclas forrajeras tradicionales.....	14
2.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS.....	15
2.2.1 <i>Dactylis glomerata</i> .....	15
2.2.2 <i>Festuca arundinacea</i> .....	16
2.2.3 <i>Trifolium repens</i> .....	17
2.2.4 <i>Lotus corniculatus</i> .....	18
2.2.5 <i>Paspalum notatum</i> .....	18
2.3 PERSISTENCIA DE LAS MEZCLAS FORRAJERAS.....	20
2.3.1 Limitante climática como factor predisponente de la persistencia.....	20
2.3.2 Manejo de la pastura que afecta la persistencia.....	21
2.3.3 Interferencia de malezas.....	21
2.4 METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL APORTE DE COMPONENTES FORRAJEROS EN MEZCLAS.....	22
2.4.1 Método por contribución en peso.....	22
2.4.2 Método de cobertura por estimación visual.....	22
2.4.3 Doble muestreo.....	22
2.5 HIPÓTESIS.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	24
3.1.1. Ubicación experimental y período del experimento.....	24
3.1.2. Descripción del sitio experimental.....	24

3.1.3. Caracterización climática del período en estudio .....	24
3.1.4. Variables agrometeorológicas.....	27
3.1.5 Antecedentes del área experimental, siembra y manejo de las mezclas .....	28
3.2. MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	29
3.2.1. Tratamientos (mezclas forrajeras).....	29
3.2.2. Diseño experimental.....	30
3.3 DETERMINACIONES EN LA PASTURA .....	31
3.3.1. Determinación visual de componentes de la pastura .....	31
3.3.2. Contribución en peso por componente .....	31
3.3.3. Supervivencia de macollos .....	31
3.3.4. Peso de macollo y estructura de hoja en las gramíneas .....	32
3.3.5. Biomasa de forraje disponible y remanente post-defoliación.....	32
3.3.6. Acumulación de forraje .....	33
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	33
3.4.1 Hipótesis 1.....	34
3.4.2 Hipótesis 2.....	35
3.4.3 Hipótesis 3.....	36
3.4.4 Hipótesis 4.....	37
3.4.5 Programas estadísticos .....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
4.1 VARIABLES AGROMETEOROLÓGICAS .....	39
4.1.1 Temperatura del aire.....	39
4.1.2 Evolución de la evapotranspiración potencial y régimen de precipitación .....	40
4.1.3 Índice de bienestar hídrico.....	40
4.2 COMPORTAMIENTO ESTIVAL DE FESTUCA Y DACTYLIS EN MEZCLAS CON COMPONENTES PERENNES ESTIVALES .....	41
4.2.1 Dinámica poblacional de macollos en verano .....	41
4.2.2 Contribución de los componentes de la mezcla en verano y otoño .....	48
4.3 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE <i>PASPALUM NOTATUM</i> EN MEZCLA CON DIFERENTES COMPONENTES.....	53
4.3.1 Efecto sobre la cobertura del suelo.....	53
4.3.2 Número de plantas en verano.....	54

4.4 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE <i>PASPALUM NOTATUM</i> EN SIEMBRA PURA .....	56
4.4.1 Tasa de crecimiento .....	56
4.4.2 Evolución de la cobertura del suelo .....	58
4.4.3 Evolución de dos variables de estructura de la pastura .....	58
4.5 RELACIÓN ENTRE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE APORTE DE LOS COMPONENTES FORRAJEROS .....	59
5. CONCLUSIONES .....	61
6. BIBLIOGRAFÍA .....	62
7. ANEXOS .....	68

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla</b>	<b>No. Página</b>
Tabla No. 1 <i>Producción de forraje promedio (en kg de MS/ha/año), según año de vida de Dactylis glomerata</i> .....	15
Tabla No. 2 <i>Producción de forraje promedio (en kg MS/ha/año) y total (kg MS/ha) para un periodo de 3 años de Festuca arundinacea</i> .....	16
Tabla No. 3 <i>Producción de forraje mínimo, máximo y promedio (en kg MS/ha/año), según año de vida de Trifolium repens cultivar Estanzuela Zapicán</i> .....	17
Tabla No. 4 <i>Producción promedio de primer y segundo año (en kg MS/ha/año) de Lotus corniculatus</i> .....	18
Tabla No. 5 <i>Producción promedio de forraje (en kg MS/ha/año) de Paspalum notatum</i> .....	19
Tabla No. 6 <i>Categorías de severidad hídrica para pasturas naturales del Uruguay</i> .....	28
Tabla No. 7 <i>Cultivares sembrados y densidad de siembra</i> .....	29

<b>Figura</b>	<b>No. página</b>
Figura No. 1 <i>Evolución de la temperatura del aire, expresada en grados Celsius (°C) para el período diciembre a mayo</i> .....	25
Figura No. 2 <i>Evolución de la temperatura sobre césped, expresada en grados Celsius (°C) para el período diciembre a mayo</i> .....	26
Figura No. 3 <i>Evolución de la precipitación y evapotranspiración, expresada en milímetros, para el período diciembre a mayo</i> .....	27
Figura No. 4 <i>Croquis del área experimental</i> .....	30
Figura No. 5 <i>Temperatura del aire (°C) promedio mensual para el sitio y período de estudio</i> .....	39
Figura No. 6 <i>Precipitación acumulada (mm) y evapotranspiración (mm) promedio mensual para el sitio y período de estudio</i> .....	40
Figura No. 7 <i>Evolución del IBH en el sitio experimental, medido cada 10 días, para el periodo de evaluación</i> .....	41
Figura No. 8 <i>Número de macollos por unidad de superficie de Festuca y Dactylis en verano</i> .....	42
Figura No. 9 <i>Evolución de la proporción de macollos muertos de Festuca y Dactylis y del IBH</i> .....	43
Figura No. 10 <i>Evolución de la proporción de macollos muertos de Festuca y Dactylis y temperatura sobre césped</i> .....	44
Figura No. 11 <i>Distribución porcentual de la supervivencia de macollos de Festuca y Dactylis, diferenciados por tamaño, durante el verano</i> .....	46
Figura No. 12 <i>Peso seco de las diferentes estructuras de hoja de Dactylis y Festuca durante el período crítico de supervivencia</i> .....	47
Figura No. 13 <i>Contribución por componentes de las mezclas 3A y 3B, según cobertura de suelo en verano</i> .....	49

Figura No. 14 <i>Proporción de peso de los diferentes componentes de la mezcla 3A y 3B en verano</i> .....	50
Figura No. 15 <i>Cobertura de las malezas en proporción a los otros componentes de mezclas 3A y 3B</i> .....	51
Figura No. 16 <i>Peso de las malezas en proporción a los otros componentes de las mezclas 3A y 3B</i> .....	52
Figura No. 17 <i>Cobertura de Paspalum en proporción a los otros componentes de las mezclas 2, 3A y 3B</i> .....	54
Figura No. 18 <i>Plantas de Paspalum por metro cuadrado de suelo</i> .....	55
Figura No. 19 <i>Tasa de crecimiento de Paspalum notatum, expresada en kg MS/ha/día, en su tercer verano</i> .....	57
Figura No. 20 <i>Evolución de la cobertura de suelo de Paspalum notatum</i> .....	58
Figura No. 21 <i>Evolución de dos variables estructurales de Paspalum notatum</i> .....	59

## RESUMEN

La incorporación y posterior domesticación de especies forrajeras de orígenes mediterráneos y continentales se ha ido intensificando en los sistemas pastoriles del Uruguay, sin embargo, en la zona norte del país principalmente, la baja persistencia de estas limita la productividad potencial. Una de las especies nativas, que por sus características puede llegar a aumentar la persistencia de mezclas forrajeras tradicionales es *Paspalum notatum*. En este trabajo se pretende evaluar si la inclusión de esta especie en mezclas con componentes forrajeros tradicionales como *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, genera algún efecto positivo en el aumento de la longevidad de estas pasturas en la zona mencionada. Para cumplir con esto se midió el aporte de cada componente dentro de cada mezcla y la sobrevivencia de macollos de las gramíneas perennes invernales en su respectiva mezcla. Además, en paralelo, se pudo obtener registros del comportamiento productivo de la gramínea estival nativa en siembra pura, datos que escasean en el país. La colecta de datos abarcó el período desde el 12 de diciembre de 2022 hasta el 5 de mayo de 2023 con el fin de abarcar la estación de verano, denominada como crítica para las especies invernales, e inicio de otoño para controlar en qué situación productiva salen las pasturas del verano e ingresan a la estación favorable para su crecimiento y desarrollo. Las mezclas de pasturas evaluadas fueron cuatro: la mezcla 1 compuesta únicamente por *Paspalum notatum*; la mezcla 2 incluía *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Paspalum notatum*; la mezcla 3A se componía por *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* y *Paspalum notatum*; y la mezcla 3B sustituye con *Dactylis glomerata* a la gramínea invernal de la 3A manteniendo los demás componentes. En cuanto a los resultados obtenidos, según la información disponible, se infería que el comportamiento estival de *Dactylis* en mezcla iba a ser mejor que en una mezcla con *Festuca*, además con un menor nivel de enmalezamiento en la primera especie. En *Paspalum* se esperaba tener una mejor performance productiva en mezcla con *Festuca*, y, en siembra pura se esperaba que la pastura alcanzara una población establecida y la totalidad del área cubierta. A su vez, estas conjeturas no se pudieron comprobar casi en su mayoría, en donde la única afirmación que se pudo constatar fue la población estable de *paspalum* en siembra pura a su tercer año.

*Palabras claves:* persistencia, *Paspalum*, norte de Uruguay, mezclas tradicionales, sobrevivencia de macollos

## ABSTRACT

The incorporation and domestication of forage species of Mediterranean and continentals' origins have been strengthened in the Uruguayan pastoral systems, nevertheless in the North of the country the low resistance of these zones limit the potential productivity. One of the native species that has features to increase its persistence of traditional forage mixtures, is *Paspalum notatum*. In this paper it is expected to assess if the incorporation of this species mixed with forage components such as *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* and *Lotus corniculatus*, generates any positive effect in the increase of longevity of these browses in the zone mentioned. In order to accomplish this goal, the contribution of each component in each mixture and the survivorship of tillers of wintry gramineae in the corresponding mixture were measured. Simultaneously, it was possible to obtain information about the productive behavior of the native summer grass in pure sowing; these figures are scarce in Uruguay. The data was collected since 12 th December 2022 until 5 th May 2023 in order to cover the summer season; which is considered critical for wintry species; and the beginning of autumn to control the summer grass and how it enters the season which is favourable for its growth and development. The browse plot that were assessed are four: Plot 1- compound only by *Paspalum notatum*, Plot 2, that included *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* and *Paspalum notatum*; plot 3A compound by *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* and *Paspalum notatum*; and plot 3B replaces wintry gramineae of the plot 3A with *Dactylis glomerata* and maintains the other components. Regarding the results obtained, according to the information available, it was inferred that the summer performance of *Dactylis* in a mixture would be better than in a mixture with *Festuca*, in addition to a lower level of weed infestation in the first species. In *Paspalum*, a better productive performance was expected in a mixture with *Festuca*, and, in pure sowing, it would be expected that the pasture would reach an established population and the entire area covered. In turn, these conjectures could not be verified almost in their majority, where the only affirmation that could be verified was the stable population of *paspalum* in pure sowing at its third year of age.

*Keywords:* persistence, *paspalum*, north of Uruguay, traditional mixtures, tiller survival

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se busca generar información sobre la persistencia y productividad de mezclas forrajeras tradicionales, con el efecto del agregado de una gramínea perenne estival a la mezcla, en los suelos de la región basáltica del norte de Uruguay.

En el norte del país se da una baja persistencia, menor o igual a tres años, que genera pérdidas productivas de las praderas perennes en relación con la vida útil que podrían llegar a tener en ambientes favorables (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023). Esto se da mayormente por el lugar de origen de las especies sembradas, es decir que generalmente son especies originarias de climas templados, no permitiéndole el clima del sector noroeste del Uruguay llegar a su potencial vida útil.

Según Lattanzi et al. (2022) favorecer la sobrevivencia de macollos en verano es clave para mantener la cobertura de gramíneas perennes y asegurar la persistencia productiva de las pasturas largas. Proceso que se debe manejar previo al verano, ya que en esta estación se da un momento de estrés crítico irreversible para las plantas.

Técnicos del programa nacional de pasturas y forrajes (Programa Nacional de Pasturas y Forrajes, 2019) plantean objetivos de manejo para asegurar la persistencia productiva de pasturas de *Festuca* y *Dactylis* asociados a las cuatro épocas del año, donde se enfatiza que se debe reducir la mortandad de plantas en el verano para no perjudicar la longevidad de la pastura.

Para ayudar a comprender la problemática de las especies en la zona de estudio, se realizaron determinaciones en mezclas con especies tradicionales de gramíneas y leguminosas y el agregado de *Paspalum notatum*, generando información objetiva sobre el efecto que causa la introducción de esta especie nativa en las mezclas tradicionales para superar limitantes presentes en la región basáltica del país.

En el estudio se evaluará el desempeño productivo de *Paspalum notatum* cv. *Sepé* en mezclas forrajeras tradicionales utilizadas en el país y de los restantes componentes de la mezcla. En el proceso de investigación, se generará información sobre la capacidad de *Festuca arundinacea* y de *Dactylis glomerata* para sobrevivir en el verano.

Para cumplir con esto se midieron distintos atributos productivos, como la evolución de la cobertura de suelo de los componentes de las mezclas y su contribución a la biomasa aérea, además de realizar un seguimiento de la mortandad de macollos de una población objetivo de las especies perennes invernales bajo estudio.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MEZCLAS FORRAJERAS

El número de especies que componen una mezcla puede variar desde mezclas ultra simples a mezclas complejas. Mezclas ultra simples, están formadas por una gramínea y una leguminosa ambas de ciclo invernal o estival. Las mezclas simples consisten en una mezcla ultra simple más una gramínea o leguminosa de ciclo complementario. Las mezclas complejas, están constituidas por un alto número de especies, de las dos familias. Pueden ser de ciclos similares (varias gramíneas y leguminosas del mismo ciclo) o de ciclos complementarios (dos gramíneas y dos leguminosas de ciclo diferente) (Carámbula, 2002-2004).

#### 2.1.1 Dinámica de mezclas forrajeras

Las gramíneas perennes invernales, presentan un ciclo de producción otoño-invierno-primaveral, por lo que, si se manejan de manera adecuada cubren los períodos críticos invernales. La mayor producción se da en primavera, disminuyendo en verano producto de las elevadas temperaturas y frecuentes períodos de déficit hídrico propios de esta estación del año. Especies como *Festuca* y *Dactylis* no tienen reposo estival, por lo tanto, continúan produciendo durante el verano. La producción anual más elevada de materia seca se obtiene al segundo y tercer año de la mezcla, explicado por un amplio dominio de leguminosas por sobre las gramíneas, ya que presentan ventajas nutricionales (Carámbula, 2002-2004).

En cuanto a las especies de gramíneas perennes estivales, se destacan por poseer altas tasas de crecimiento en los meses más cálidos y reposo en los más fríos, lo que les permite detener su crecimiento y así sobrevivir a las bajas temperaturas invernales (Santiñaque & Carámbula, 1981).

García (2003) indica que existen producciones estacionales determinadas, en parte, por variaciones en factores climáticos. Las gramíneas en general, Trébol blanco y el género *Lotus*, presentan un pico de producción primaveral debido al aumento progresivo de la radiación incidente y cambios en la respuesta de las especies a dicho factor. De manera coincidente, Formoso (2011) evidencia, mediante una serie de estudios, que en primavera las mezclas de especies presentan mejor performance productiva. En las demás estaciones el aporte de biomasa dependerá de qué especie se incluya en la mezcla.

Toda mezcla forrajera llega en determinado periodo a una estabilización; ésta puede ser definida como la capacidad de un ecosistema de amortiguar perturbaciones ambientales, manteniendo constante la función ecológica de interés (Lehman & Tilman, 2000; Tilman et al., 2006; Yachi & Loreau, 1999).

### 2.1.2 Producción y distribución estacional de las pasturas mezcla

Hagopían y Moreni (2015) describen que en los sistemas pastoriles del país hace décadas que se introducen especies de origen templado o C3, debido a que la inclusión de especies estivales en las mezclas condiciona la distribución de la productividad anual generando una marcada estacionalidad.

Como ya se mencionó, la producción de forraje en el verano está muy condicionada por la disponibilidad de agua en el suelo. En años en que la producción estival es baja, las pasturas tienden a ser sobre pastoreadas, lo que repercute en el sistema en el corto plazo en las estaciones siguientes, y en el largo plazo sobre la persistencia y producción de las mezclas disminuyendo la performance individual de los animales en otoño e invierno (Formoso, 2010b).

Esta problemática mencionada será la limitante del sistema pastoril a corregir, por lo tanto, la elección de la especie forrajera a incluir dependerá de varios factores, siendo la productividad, la distribución estacional y la adaptación ecológica los más importantes. Este último aspecto es mencionado por Cian et al. (2003), quienes afirman que varias gramíneas perennes C4 de clima templado pueden adaptarse a una mezcla con especies perennes invernales sin condicionar su producción.

Las mezclas de dos especies invernales, tipo Festuca (F) y Trébol blanco (TB) rindieron 18,4 TMS/ha (Toneladas de materia seca por hectárea) en tres años, las de dos especies estivales *Paspalum notatum* (P) + *Lotus corniculatus* (LC) produjeron en forma similar, 17,5 TMS/ha, siendo ambas superadas por mezclas complementarias F+TB+P+LC que produjeron 21,7 TMS/ha en tres años. La inclusión de especies estivales, LC y P aumentaron los rendimientos de la mezcla y disminuyeron los contenidos de malezas (Formoso, 2010a).

### 2.1.3 Estructura de gramíneas invernales

González y Astigarraga (2012) midieron la producción de leche de vacas pastoreando *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata*. En su estudio encontraron que la biomasa total disponible fue mayor en la pastura de Festuca con respecto a la pastura de Dactylis, sin embargo, la biomasa disponible por encima de los 5 cm de altura fue similar entre ambas. Estos autores concluyen en su investigación que, en pastoreo, las vacas producen más leche y más sólidos en la pastura de Dactylis, lo cual estaría explicado por una mayor utilización del forraje asociado a la mayor proporción de láminas por encima de 5 cm en Dactylis en comparación a la Festuca, la cual presentó una relación lámina/tallo menor.

Para García (2003) esta acumulación diferencial de forraje por debajo de los 5 cm de altura está asociada al desarrollo de matas en las plantas de Festuca, lo cual es característico en una pastura de 4 años para esta especie. También ha reportado que ambas especies difieren en más de un mes entre las fechas de floración en primavera (mediados de septiembre para la Festuca y fines de octubre para el Dactylis). Por lo tanto, el estado fenológico explica parte de las diferencias de biomasa entre ambas especies.

## 2.1.4 Modificación a las mezclas forrajeras tradicionales

### 2.1.4.1 Incorporación de una gramínea C4

Las gramíneas perennes presentes y disponibles comercialmente en el país son fundamentalmente de ciclo invernal, generando picos de crecimiento tanto en primavera como en otoño. En condiciones de clima templado y cálido con precipitaciones durante todo el año surge una excelente oportunidad de producción para gramíneas estivales de metabolismo C4, las cuales son capaces de aprovechar radiación, temperatura, agua y nutrientes en momentos en que las pasturas invernales no logran ser eficientes, generando así una excelente complementariedad en los ciclos de crecimiento con las especies de ciclo invernal, resultando en una mayor estabilidad productiva y ecológica (Giorello, 2020).

López et al. (2015) concluyen que la inclusión de gramíneas perennes estivales en praderas tradicionales potencia la producción de forraje estival en los primeros años de la mezcla. Destacan que el género *Paspalum spp.* soluciona el problema de persistencia y productividad de las especies perennes invernales, y específicamente *Paspalum dilatatum* no afecta el rendimiento del resto de los componentes.

Millot (1969) demostró que ciertas especies de ciclo estival, principalmente del género *Paspalum*, son capaces de convivir con otras de ciclo invernal, haciendo un uso más eficiente del potencial productivo de los suelos. Formoso (2010b) asegura que el agregado de *Paspalum spp.* a largo plazo afecta las leguminosas y deteriora la performance de *Festuca* y *Falaris*.

### 2.1.4.2 Evolución de la cobertura de suelo y número de plantas de *Paspalum notatum*

Figueredo (2022) registró que *Paspalum notatum cv. Sepé* pasa de 10,4 % de cobertura de suelo a 80,2 % en un año de crecimiento, desde 6 a 18 meses post siembra, sobre suelos de basalto. Además, indica que el número de plantas por unidad de superficie, así como la altura promedio por planta, aumentan gradualmente en el mismo lapso, pasando de 4,4 plantas/m<sup>2</sup> a 8,3 plantas/m<sup>2</sup> y de 4,3 cm a 13,4 cm de altura promedio.

Zarza y Formoso (2018) encontraron que *Paspalum notatum* Pensacola sembrado en mezcla con otras gramíneas C4 y *Lotus uliginosus* alcanza una cobertura de suelo promedio de 22 % a los 3 años de siembra, mostrando una aptitud colonizadora, aunque desapareja.

Speranza (2017) indica que *Paspalum notatum* sembrado en primavera sobre un suelo Brunosol de la unidad Itapebí-Tres árboles, a los 18 meses post siembra alcanza una altura promedio de 17,3 cm y un total de 1.763 macollos/m<sup>2</sup>, cuando se lo somete a un régimen de pastoreo.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS

### 2.2.1 *Dactylis glomerata*

*Dactylis glomerata* L. es una gramínea perenne, invernal y cespitosa con macollos achatados, de origen mediterráneo o continental. Las hojas son glabras de color verde azulado, presenta una nervadura central marcada, con lígula blanca y visible, no presenta aurículas. Se caracteriza por formar matas individuales, debido a que no produce estolones ni rizomas, y forma un tapiz abierto con matas definidas (Langer, 1981).

Su crecimiento inicial es vigoroso, causando un rápido aumento en el número de macollos. Esto le confieren una buena implantación y por lo general mayor rendimiento en el primer año de vida en comparación con *Festuca arundinacea* y *Phalaris aquatica*, aunque posteriormente es superado por dichas especies (Carámbula, 2002-2004).

La combinación de escasa área foliar remanente pos-pastoreo y días con alta insolación generan un intenso estrés que conlleva una alta probabilidad de muerte de macollos, tanto en *Festuca* como en *Dactylis* y raigrás perenne. Como la producción de macollos es muy baja en verano, la alta mortandad determina caídas en la densidad de macollos (Jáuregui et al., 2017).

#### **Tabla No. 1**

*Producción de forraje promedio (en kg de MS/ha/año), según año de vida de Dactylis glomerata*

Año	kg de MS/ha/año
Primero	4.806
Segundo	10.351

*Nota.* Extraído del Instituto Nacional de Semillas e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INASE & INIA, 2011).

La persistencia productiva de pasturas con *Dactylis* como componente perenne invernal, requiere de una buena disponibilidad de nitrógeno desde fines de invierno a primavera, un buen control en el desarrollo reproductivo al comienzo de ésta última estación, cuidar la supervivencia de macollos durante el verano, y estimular la producción de nuevos macollos una vez que termina el verano (Programa Nacional de Pasturas y Forrajes, 2019).

Tolera bien la acidez y la sombra, por lo que se adapta muy bien a siembras consociadas (Carámbula, 1977). García (2003) menciona que se destaca por su resistencia a sequía y crecimiento durante el verano, gracias a este comportamiento las praderas con *Dactylis* en verano presentan menor nivel de engramillamiento.

### 2.2.2 Festuca arundinacea

*Festuca arundinacea* (Schreb.) Hackel (*Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh. ); es una gramínea perenne, de ciclo invernal, de origen mediterráneo continental. Presenta un hábito de crecimiento cespitoso con presencia de rizomas muy cortos (Carámbula, 1977; Langer, 1981).

Esta especie presenta una buena precocidad otoñal, rápido rebrote a fines de invierno y floración temprana (setiembre-octubre), produciendo mucho forraje a fines de otoño y principios de invierno (Carámbula, 2002-2004).

Estudios realizados por Langer (1981), exponen que la producción durante el primer año es baja, debido a que la *Festuca* se establece con lentitud y es vulnerable a la competencia con otras especies, pero si es manejada de forma adecuada la misma puede persistir muchos años.

#### Tabla No. 2

*Producción de forraje promedio (en kg MS/ha/año) y total (kg MS/ha) para un periodo de 3 años de Festuca arundinacea*

Año	kg MS/ha/año
Primero	8.886
Segundo	12.436
Tercero	8.288
<b>Total de producción (kg MS/ha)</b>	<b>29.610</b>

Nota. Extraído del INASE (2011).

La persistencia de la *Festuca* depende del desarrollo radicular alcanzado desde fines de invierno y primavera, y de un manejo cuidadoso del pastoreo que no afecte desfavorablemente el rebrote de otoño (Formoso, 2010a).

En condiciones de alta temperatura y radiación solar, su rebrote vegetativo a menudo cesa, retomando el crecimiento vegetativo temprano en el otoño. Se destaca por su crecimiento otoñal y por su tolerancia a las heladas, brindando buena calidad de forraje para el pastoreo de invierno (Barnes et al., 1995).

Mantener o incrementar la densidad poblacional de macollos en primavera es decisivo para lograr que la pastura persista, aún más importante es la supervivencia durante el verano de estos macollos, para que dicho incremento en la densidad en primavera se refleje en densidades adecuadas en el otoño siguiente (Carámbula, 2002-2004).

### 2.2.3 *Trifolium repens*

*Trifolium repens* L. es una leguminosa perenne, con centro de origen en Europa principalmente la región mediterránea, tiene un hábito de crecimiento postrado y estolonífero. De ciclo invernal, registra su mayor producción de forraje en primavera (Carámbula, 2002-2004).

El trébol blanco puede persistir como planta anual a través de la resiembra, o como perenne mediante la producción continuada de estolones. La importancia relativa de ambos mecanismos varía en función del clima. En zonas templadas húmedas y sin mayores problemas de altas temperaturas (ejemplo Nueva Zelanda y parte de Europa), el trébol blanco persiste bien por estolones y la resiembra no es un fenómeno importante. En cambio, en ambientes subtropicales con altas temperaturas y déficit hídricos, tales como en el sudeste de los Estados Unidos y el sudeste de Queensland en Australia, la sobrevivencia de estolones es problemática y la persistencia depende de la resiembra. En estos casos se utilizan cultivares de floración temprana y abundante (García, 1995).

En un experimento realizado por Diaz Lago et al. (1996) encontraron en nuestro país una distribución estacional en la producción de forraje en *Trifolium repens* de 52 %, 13 %, 12 % y 23 % en primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Estos autores presentan que durante el primer año la producción es mínima en otoño-invierno y se concentra entre octubre y diciembre. En el segundo año, las mayores tasas de crecimiento se registraron desde marzo a octubre, logrando la máxima tasa de crecimiento en el mes de octubre con valores de 46 kg MS/ha/día.

**Tabla No. 3**

*Producción de forraje mínimo, máximo y promedio (en kg MS/ha/año), según año de vida de Trifolium repens cultivar Estanzuela Zapicán*

	Mínimo kg de MS/ha	Máximo kg de MS/ha	Promedio kg de MS/ha
1er año	6.308	7.834	7.071
2do año	7.130	14.428	10.779

*Nota.* Extraído de INASE e INIA (2014).

La persistencia y respuesta de las leguminosas al pastoreo está determinado por la especie de que se trate. Especies más postradas como trébol blanco tienen una mayor velocidad de rebrote, producto de una masa foliar en el estrato inferior que es altamente eficiente fotosintéticamente y por disponer de yemas en los estolones (Olaizola et al., 2015)

En cuanto al establecimiento de la especie, el vigor inicial es bajo, presenta establecimiento lento y no tolera la sombra. Como consecuencia, la reducción del rendimiento del trébol blanco cuando se siembra con especies asociadas se debe a la competencia librada entre todos los componentes de la pastura por luz, nutrientes y humedad. Además, según su hábito, el trébol blanco constituye la leguminosa perenne

de mayor adaptación a las praderas bajo pastoreo de las zonas templadas de todo el mundo. Aunque cuando es sembrado con especies de alto crecimiento inicial como raigrás anual reduce su producción por una competencia por luz (Carámbula, 2002-2004; Langer, 1981; Muslera & Ratera, 1991).

#### 2.2.4 Lotus corniculatus

*Lotus corniculatus* L. es una leguminosa perenne estival, su centro de origen es de Europa meridional y Norte de África (Pinto & Rodríguez, 1989), tiene un hábito de crecimiento de postrado a erecto a partir de una corona bien desarrollada, sin estolones.

Cuenta con amplio rango de adaptación a variadas condiciones de suelo con buenas producciones de forraje, presentando ausencia de riesgo de meteorismo (Formoso, 1993).

Según Formoso (1996), los atributos del *Lotus corniculatus* como la tolerancia a la sequía, el elevado valor nutritivo y la persistencia, lo convierten en una especie muy recomendable para las mezclas forrajeras.

Al ser una especie estival la producción de forraje en otoño e invierno presenta tasas medias, sustancialmente inferiores a las de primavera-verano, siendo el invierno la estación de menor producción dentro de cada edad del cultivo. Las tasas de crecimiento mensual de producción de materia seca son inferiores a 10 kg MS/ha/día y se registran sólo en mayo en su segundo año, de abril a agosto en su tercer año y de marzo a agosto en su cuarto año. Como contraparte la mayor tasa de crecimiento alcanzada fue en el mes de septiembre de su segundo año, registrando una tasa de crecimiento diaria de 48,8 kg MS/ha/día con un desvío estándar de 21,9 (Formoso, 1993).

#### **Tabla No. 4**

*Producción promedio de primer y segundo año (en kg MS/ha/año) de Lotus corniculatus*

<b>Año</b>	<b>kg de MS/ha/año</b>
Primero	5.222
Segundo	10.635

*Nota.* Extraído de INASE e INIA (2014).

#### 2.2.5 Paspalum notatum

*Paspalum notatum* es una gramínea perenne, de ciclo estival, con crecimiento rastrero, postrado, con estolones que enraízan desde los nudos. Es considerada como una gramínea agresiva, con un sistema radicular profundo. Debido a sus tallos rastreros macizamente radiculados con raíces largas y fibrosas, forma pasturas densas y firmes. Debido a su lento desarrollo inicial, se espera que la pastura tenga un enmalezamiento temprano, y a su vez, el primer año la especie tiene un uso limitado (Rechcigl et al., 1993; Skerman & Riveros, 1992).

Dada la presencia de estolones y rizomas, tiene una gran capacidad colonizadora y ofrece la posibilidad de ser incorporada a los sistemas productivos, como componente de una pradera o incluso como monocultivo de alta producción. Esta característica colonizadora permite que su implantación se logre casi en la totalidad de los casos. La condición de una alta persistencia de esta pastura requiere de una localización en potreros que no sean parte de rotaciones, sino espacios especializados en este tipo de producción (Reyno, 2015).

Speranza (2017) encontró que *Paspalum notatum* presenta una muy lenta instalación, aumentando gradualmente su crecimiento alcanzando su pico en el tercer otoño de edad. Esto resulta en una productividad inicial baja pero que es compensada con altas tasas de crecimiento posteriores.

Giorello (2020) afirma que la utilización de esta gramínea puede contribuir a una disminución de riesgos y costos en los sistemas ganaderos, aportando estabilidad y diversificación en la base forrajera, y extender el período de utilización de las pasturas. También resalta que un punto importante es el tiempo de instalación, normalmente el primer año es de instalación y su aporte forrajero es inferior al que se reporta del segundo año en adelante (1.500 a 2.000 vs 6.000 a 12.000 kg MS/ha). Wallau et al. (2019) también afirman que la producción anual de forraje es variable (3.362 - 11.208 kg MS/ha/año) según el cultivar, manejo y ambiente.

**Tabla No. 5**

*Producción promedio de forraje (en kg MS/ha/año) de Paspalum notatum*

Año	kgMS/ha/año
Año de implantación	1.500 - 2.000
Años pos-implantación	6.000 - 12.000

*Nota.* Datos extraídos por Giorello et al. (2021).

Figueredo (2022) registró, en un trabajo realizado en la misma zona en estudio, tasas de crecimiento promedio de 18,8 kg/ha/día de MS en la segunda primavera de desarrollo de la pastura. Siendo inferior a los valores obtenidos por Giorello et al. (2021) donde indica que las tasas de crecimiento promedio durante el ciclo son aproximadamente 45 kg MS/ha/día logrando máximos que superan los 100 kg MS/ha/día en la segunda quincena de enero.

### 2.3 PERSISTENCIA DE LAS MEZCLAS FORRAJERAS

Cuando una pradera disminuye su persistencia, lo que ocurre es una pérdida de las especies sembradas, generalmente leguminosas en primer término, acompañado de un posible enmalezamiento. El grado y el tiempo en que esto ocurre varían según la región, el manejo y factores ambientales, causando en todos los casos una reducción en la producción, calidad de forraje y provocando una baja en la producción animal (Formoso, 1996). En especies perennes, la persistencia debe favorecerse por un manejo de pastoreo que permita la aparición de nuevas unidades de crecimiento, mediante el mantenimiento de procesos activos de macollaje y de formación de tallos, rizomas y estolones (Carámbula, 2002-2004).

En cuanto a las gramíneas, Giorello (2020) mantiene que “la persistencia de una comunidad de plantas es determinada por la capacidad de mantener estable su población de macollos, tanto por la sustitución de macollos muertos o por la elevada longevidad y supervivencia de los macollos existentes” (p 70).

Minimizar pérdidas de densidad de macollos en verano es clave para mantener la cobertura de gramíneas perennes y asegurar la persistencia productiva de las pasturas largas. La corta persistencia de las pasturas en el norte del Uruguay es uno de los principales problemas en la producción de forraje, dicho problema está basado en gran parte por las condiciones estivales; enfrentando las plantas altas temperaturas, elevada radiación y escasa humedad en el suelo. Si bien hay factores ambientales que no se pueden manipular, es posible tomar decisiones de manejo con gran impacto en la productividad y la amortiguación de los estreses climáticos (Lattanzi et al., 2022).

#### 2.3.1 Limitante climática como factor predisponente de la persistencia

Con escasa humedad en el suelo, las plantas bajan su tasa de transpiración y así se reduce su capacidad de disipar el calor generado por la alta radiación. En días soleados y con poca agua disponible en el suelo, las hojas de *Festuca* pueden llegar a estar hasta 15 °C más calientes que el aire que las rodea (Jáuregui et al., 2020). Es decir, si la temperatura del aire es 25 °C, la de las hojas puede llegar a 40 °C.

Déficit de transpiración superior a los 400-500 mm inducen la muerte por deshidratación, independientemente del efecto térmico. Aunque este fenómeno es más común en climas mediterráneos y poco usual en Uruguay, si tales niveles de déficit aparecen ante la combinación de años con precipitación muy escasa en el período noviembre-febrero y suelos con poca capacidad de almacenamiento de agua, en estas condiciones, incluso excelentes manejos de la altura remanente no logran prevenir la muerte de macollos (Lattanzi et al., 2022).

Un balance hídrico negativo por la gran evapotranspiración y la falta de lluvias, junto con los días con más de 32 °C (el óptimo para el crecimiento de la *Festuca* es entre 24 y 26 °C) generan en la planta una marcada disminución en el crecimiento y la activación de mecanismos de respuesta a estrés. Además, se debe considerar que la temperatura de los primeros centímetros de suelo (que es la que registran los puntos de crecimiento de la planta de *Festuca*) suele ser superior a la temperatura del aire durante las horas del día, en situaciones en que la cobertura del suelo es baja (Ayala et al., 2017).

### 2.3.2 Manejo de la pastura que afecta la persistencia

En los últimos años se ha avanzado mucho en la comprensión de los mecanismos que causan la pérdida de cobertura de gramíneas forrajeras en ambientes subtropicales como el Uruguay. En la década del 80' se veía que pastoreos aliviados en verano mejoraban la persistencia de *Festuca*. Hoy se sabe que la combinación de escasa área foliar remanente pos-pastoreo y días con alta insolación generan un intenso estrés que conlleva una alta probabilidad de muerte de macollos, tanto en *Festuca* como en *Dactylis* y raigrás perenne. Como la producción de macollos es muy baja en verano, la alta mortandad determina caídas en la densidad de macollos (García, 1980; Jáuregui et al., 2017).

Se ha evaluado en distintos cultivares de *Festuca* cómo cambia la supervivencia de macollos cuando se entra en el verano con distinta altura de remanente, considerando que en esta especie como en *Dactylis* es recomendable que al entrar al verano las pasturas tengan buena área foliar remanente. En el verano 2015-2016 se realizó un experimento para ver el efecto de la sombra sobre las praderas, concluyendo que coberturas de 10 cm de remanente ejercen un efecto de protección y amortiguación de la temperatura a nivel del suelo. Para los dos cultivares con los que se trabajó, hubo muerte progresiva de hasta 60 % de los macollos iniciales cuando se dejó solamente 3 cm de remanente. La mayor cantidad de macollos (40 %) murieron durante el mes de diciembre. Cuando la altura del remanente fue de 10 cm no murieron más del 15 % de los macollos iniciales (Trejo, 2020).

La instalación de una pradera genera un cambio drástico en el medio ambiente, produciendo la sustitución de un conjunto de especies en equilibrio natural por una mezcla de pocas especies. La base de las pasturas sembradas en todo el mundo se compone por un número limitado de especies forrajeras, que se encuentran en una gran diversidad de escenarios y ambientes, debiéndose adaptar a suelos y condiciones climáticas muy diferentes a las de su lugar de origen. Especies a las cuales se les ha hecho un proceso de selección basado en el aumento de producción y no siempre en la persistencia. Así es que éstas deben enfrentarse a especies autóctonas adaptadas a permanecer en ese ambiente (Arrospide & Ceroni, 1980).

### 2.3.3 Interferencia de malezas

La disminución del crecimiento de las especies sembradas ya sea estacional, por entrar en latencia, o permanente por la pérdida de sus individuos, libera recursos aumentando la probabilidad de colonización efectiva por especies invasoras (Panetta & Wardle, 1992). Se considera como especies invasoras a aquellas que no son sembradas originalmente en la mezcla. Las mismas están mejor adaptadas a las altas temperaturas y escasez de agua, y a su vez perjudican o deprimen el crecimiento de las especies sembradas (Olson, 2006; Pimentel et al., 2000). De acuerdo a Tozer et al. (2011) las especies invasoras requieren de tres condiciones para su colonización efectiva: espacios libres de competencia, ventajas competitivas frente a las especies sembradas y alta presión de propágulos. Un ejemplo muy claro es el de *Cynodon dactylon*, que es la maleza que ocupa la mayor área en el país. Su incidencia se manifiesta a nivel agrícola y pecuario, disminuyendo los rendimientos de cultivos, la calidad de los forrajes y la persistencia de las praderas sembradas; esta gramínea desarrolla una alta eficiencia fotosintética en condiciones de alta intensidad lumínica, elevadas temperaturas, aún con

humedad limitante. Las praderas entretanto están constituidas en su gran mayoría por especies forrajeras, las cuales disminuyen sus tasas de crecimiento en condiciones de altas temperaturas y deficiencias hídricas (Ríos, 2001).

## 2.4 METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL APOORTE DE COMPONENTES FORRAJEROS EN MEZCLAS

### 2.4.1 Método por contribución en peso

En forma general, el método de corte se aplica como método de referencia, ya que es el método más preciso (Cangiano, 1996). Es utilizado para comparar la cantidad de materia seca real con algún otro método estimativo, no destructivo. Sin embargo, no resulta práctico para situaciones de pastoreo, ya que requiere mayor trabajo, no permite estimar la disponibilidad de forraje in situ, es costoso, requiere mucho tiempo y puede requerir numerosas muestras para obtener estimaciones fiables (Brummer et al., 1994, como se cita en López & González, 2012).

### 2.4.2 Método de cobertura por estimación visual

Los métodos tradicionales como la estimación visual (Baars & Dyson, 1981), son en general satisfactorios para pastizales, pero, como se informó por Tucker (1980), son sensibles a las variaciones entre los observadores y no es un método cuantitativo.

En este caso, la estimación de la disponibilidad de materia seca se realiza a través de la estimación visual y requiere de un entrenamiento específico y aun así están muy sujetas a la subjetividad personal. El evaluador debe valorar e integrar la densidad, cobertura, contenido de MS, relaciones tallo/hoja, proporción vivo/muerto y composición botánica para poder hacer una composición integral de los distintos factores. Esta técnica requiere de personal entrenado, aun así, pueden presentar errores de sobrestimación de altura, o subestimación de los efectos de densidad (Fernández, 2004).

### 2.4.3 Doble muestreo

Una alternativa a los métodos directos es el método de doble muestreo desarrollado por Haydock y Shaw (1975), que es comúnmente utilizado por los investigadores para aumentar la precisión de las estimaciones y reducir al mínimo la cantidad de trabajo (Sanderson et al., 2001).

Este método requiere de un muestreo destructivo en primera instancia para desarrollar una relación predictiva con algún método indirecto. Una vez que se ha establecido una ecuación de asociación entre la disponibilidad de materia seca de determinada pastura y su medida indirecta, prácticamente no es necesario realizar el muestro por corte, únicamente en el caso de validaciones o recalibraciones del método que se está utilizando (Ganguli et al., 2000).

Estos métodos se basan en el desarrollo de relaciones de regresión de biomasa del cultivo en pie a los valores predictivos, tales como altura de plantas, área foliar, densidad de la vegetación, edad, cobertura, obstrucción visual o sensoramiento remoto mediante teledetección (Cochran, 1977). Sin embargo, estas estimaciones generalmente se asocian con un moderado a alto error experimental, porque las

relaciones entre la producción de materia seca y las variables de la pastura dependen de numerosos factores que pueden interactuar mutuamente.

## 2.5 HIPÓTESIS

1. *Dactylis* presenta un mejor comportamiento estival en mezcla que *Festuca*, debido a una mejor eficiencia en el uso del agua y mayor tolerancia a elevados niveles de radiación incidente, generando una mayor sobrevivencia de macollos en la estación crítica de crecimiento. Esto tiene como consecuencia un mayor aporte de los componentes de las mezclas y un menor nivel de enmalezamiento
2. *Paspalum notatum* presenta diferente colonización en el tercer verano de vida según los componentes que conforman la mezcla, expresándose en función de la cobertura de superficie verde y el número de plantas por unidad de superficie.
3. *Paspalum notatum* en siembra pura en su tercer año de vida logrará cubrir en su totalidad el suelo a través de modificaciones en las variables número de plantas por unidad de superficie y tamaño de estas.
4. No existen diferencias en la estimación de la participación de los componentes de la mezcla entre el método de estimación visual y la determinación en función de su aporte a la biomasa aérea.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES**

##### 3.1.1. Ubicación experimental y período del experimento

El experimento fue efectuado en la EEFAS (Estación Experimental de la Facultad de Agronomía Salto), ubicada sobre la ruta nacional N° 31 en el km 21.5, a unos 24 km del Centro Universitario Regional Litoral Norte de la ciudad de Salto.

El período de evaluación fue desde la primera quincena de diciembre del año 2022 hasta la primera quincena de marzo del 2023. En este lapso se recolectó información en dos momentos diferentes dentro de la estación de verano.

##### 3.1.2. Descripción del sitio experimental

El sitio del área experimental se encuentra sobre la Unidad de suelos Itapebí-Tres Árboles, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976).

Los suelos dominantes de esa unidad son Brunosoles eutrícos, con un horizonte A melánico de 30cm y un horizonte Bt con alto contenido de arcilla, coincidiendo con el perfil característico de los suelos de esta zona descrito por el Ministerio de Agricultura y Pesca (Dirección de Suelos, 1976) (Ver anexo A).

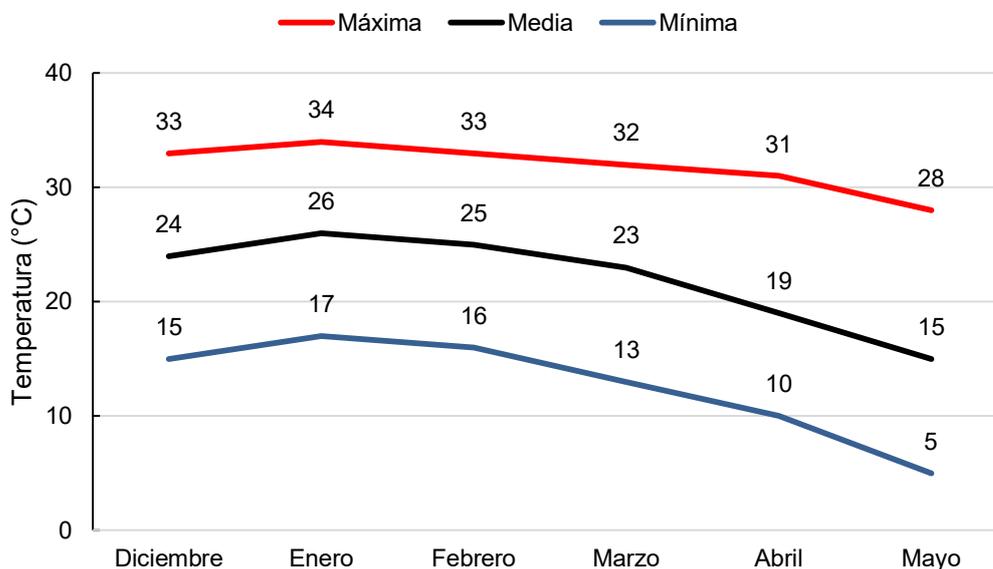
##### 3.1.3. Caracterización climática del período en estudio

Las variables climáticas normalizadas, temperatura del aire y precipitaciones fueron obtenidos del banco de datos agroclimáticos de la estación meteorológica de INIA Salto Grande (INIA, 2023), localizada a aproximadamente 30 km del sitio experimental. Datos de evapotranspiración potencial Penman-Monteith (ETP) diaria, radiación solar incidente y temperatura media diaria a 5cm del suelo (temperatura sobre césped), fueron obtenidos de la misma estación.

### 3.1.3.1 Temperatura del aire y temperatura sobre césped

**Figura No. 1**

*Evolución de la temperatura del aire, expresada en grados Celsius (°C) para el período diciembre a mayo*



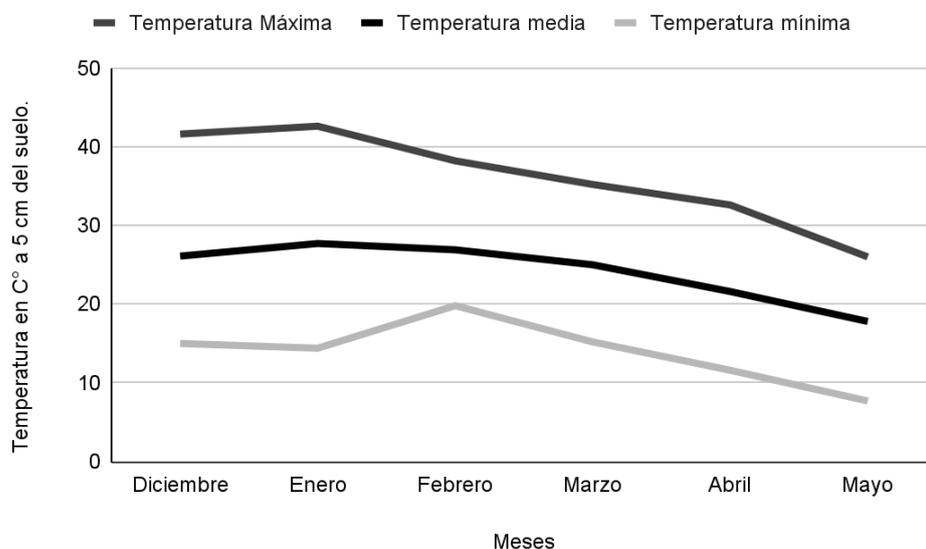
*Nota.* Elaborado en base al banco de datos agrometeorológicos de INIA GRAS para un período de 30 años (1992 a 2021) (INIA, 2023).

Históricamente para el período y para la zona de estudio la temperatura máxima, mínima y promedio del aire se da en el mes de enero, con valores similares y de menor magnitud en diciembre y febrero. Luego de este período máximo la temperatura comienza a descender.

La amplitud térmica dentro del periodo es variable, los meses que comprende la estación de verano presenta los menores valores. Cuando culmina dicha estación y comienza el otoño se registran mayores diferencias entre la temperatura máxima y mínima.

**Figura No. 2**

*Evolución de la temperatura sobre césped, expresada en grados Celsius (°C) para el período diciembre a mayo*



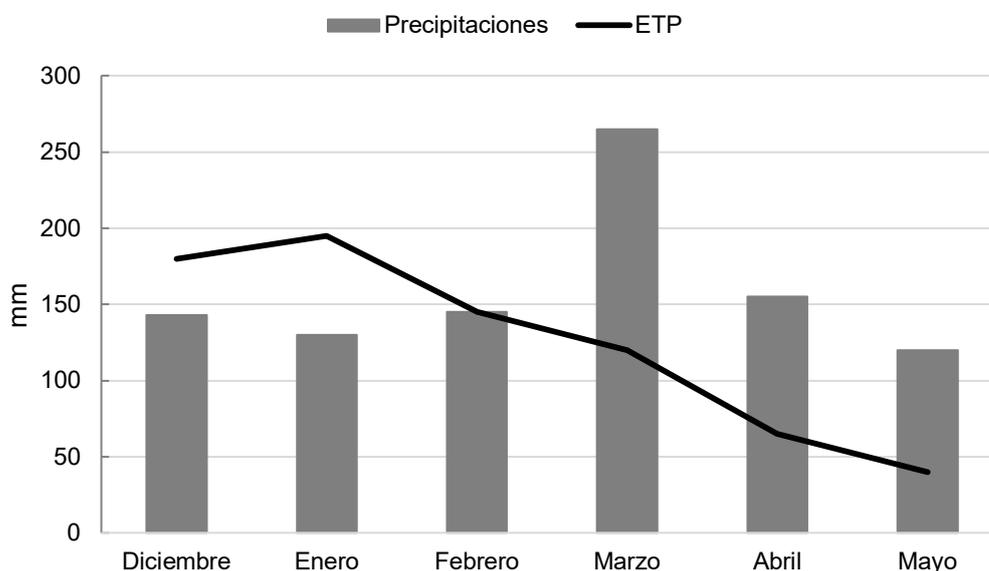
*Nota.* Elaborado en base al banco de datos agrometeorológicos de INIA GRAS para un período de 30 años (1992 a 2021) (INIA, 2023).

Se observa el mayor valor de temperatura máxima sobre césped en el mes de enero, la cual fue de 42,6 C°, con un posterior descenso. La temperatura promedio sigue la misma tendencia en su comportamiento, pero la temperatura mínima tiene un leve descenso desde diciembre a enero y presenta un valor máximo en el mes de febrero. Desde marzo en adelante se observa como todas las temperaturas comienzan a descender.

### 3.1.3.2 Precipitaciones y Evapotranspiración

#### Figura No. 3

*Evolución de la precipitación y evapotranspiración, expresada en milímetros, para el período diciembre a mayo*



*Nota.* Elaborado en base al banco de datos agrometeorológicos de INIA GRAS para un período de 30 años (1992 a 2021) (INIA, 2023).

Como se observa en el periodo estival la demanda de evapotranspiración supera los registros de precipitación. El pico de evapotranspiración se da en el mes de enero, adquiere valores similares a la precipitación en febrero y desde este mes en adelante es inferior a la precipitación. En los meses de marzo y abril se registra el valor más alto de precipitación superando ampliamente las demandas por evapotranspiración.

#### 3.1.4. Variables agrometeorológicas

Los registros de temperatura sobre césped, evapotranspiración y precipitaciones que se presentan en los resultados, son obtenidos de la base de datos del parque agrometeorológico de EEFAQ.

El período de datos se encuentra comprendido entre el 10 de diciembre al 10 de mayo. Se utilizaron registros diarios de temperatura del aire y registros acumulados cada 10 días para evapotranspiración y precipitación.

##### 3.1.4.1 Índice de bienestar hídrico (IBH)

El Índice de Bienestar Hídrico (IBH), fue creado con el objetivo de poder observar cual es la severidad del déficit hídrico, contemplando la evapotranspiración potencial (ETP) y el almacenaje del suelo (Cruz & Baethgen, 2014).

La evapotranspiración real (ETR) fue estimada mediante un balance hídrico simple, asumiendo un almacenamiento de agua potencialmente disponible de 70 mm, definido para la unidad de suelos mencionada (Fernández, 1979).

Con la información de precipitación y de ETP extraídos del parque agrometeorológico de EEFAS, se llevó a cabo la construcción del balance hídrico para posteriormente calcular los valores del IBH. Se utilizó rangos de IBH definidos en el trabajo de Cruz y Baethgen (2014), según se indica en la tabla 6.

**Tabla No. 6**

*Categorías de severidad hídrica para pasturas naturales del Uruguay*

<b>Intervalo de IBH</b>	<b>Efecto de la escasez de agua</b>
1 - 0,7	Escasez teórica. Las plantas reciben agua de forma continua.
0,7 - 0,5	Restricción paulatina de satisfacer la demanda de agua.
0,5 - 0,2	Suministro de agua periódico y restrictivo. Escasez que provoca pérdidas de biomasa.
< 0,2	Grave estrés hídrico.

*Nota.* Extraído de Cruz y Baethgen (2014).

### 3.1.5 Antecedentes del área experimental, siembra y manejo de las mezclas

La mezcla fue sembrada entre el 16 y 17 de abril del año 2020, teniendo como cultivo antecesor un verdeo estival de ciclo corto (*Setaria italica*) el cual se sembró en la primavera de 2019. Esto significa que el suelo tuvo un barbecho largo entre el verdeo y la siembra de las mezclas.

En el caso de las praderas puras de *Paspalum notatum* fueron sembradas el 24 de noviembre del 2020, luego de un verdeo de *Lolium multiflorum*.

El manejo pre-siembra consistió en un laboreo con disquera y posteriormente una pasada de landplane para la nivelación del terreno, realizándose canalículos y un canal de desagüe con 0,3 % de desnivel con el fin de establecer un sistema de riego, el cual no se utilizó durante el período experimental. Se aplicó también herbicida para controlar las malezas (5 l/ha de glifosato).

Las gramíneas se sembraron con sistema de siembra directa, en línea a una distancia entre filas de 17 cm, mientras que las leguminosas se siembran al voleo con la misma maquinaria.

**Tabla No. 7***Cultivares sembrados y densidad de siembra*

<b>Especie</b>	<b>Cultivar</b>	<b>Densidad de siembra (kg/ha de semilla)</b>
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Rizar	15
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Aurus	12
<i>Paspalum notatum</i> Flüggé	INIA Sepé	8 (pura)
		5 (mezcla)
<i>Trifolium repens</i> L.	Zapicán	2
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Rigel	8

La fertilización para todas las mezclas consistió en una aplicación al momento de la siembra y también re-fertilizaciones con el fertilizante súper concentrado nitrogenado (7 - 40/40 - 0 + 5S), con una aplicación de 120 kg/ha en cada ocasión.

En el 2022 se realizaron dos fertilizaciones, una en otoño y la otra a principios de la primavera, la fertilización de otoño fue de 60 kg/ha de 7-40/40-0 y una fertilización nitrogenada en otoño y primavera con 120 kg/ha de urea (55 kg/ha de N).

A los 90 días pos-siembra se aplicaron los siguientes herbicidas: flumetsulan (Preside) a 400 cc/ha y 2,4-DB sal amina a 800 cc/ha, esta mezcla de herbicidas fue aplicada también en otoño del año 2022.

### 3.2. MANEJO DEL EXPERIMENTO

#### 3.2.1. Tratamientos (mezclas forrajeras)

El experimento consistió en cuatro tratamientos distintos, compuestos por las siguientes pasturas sembradas:

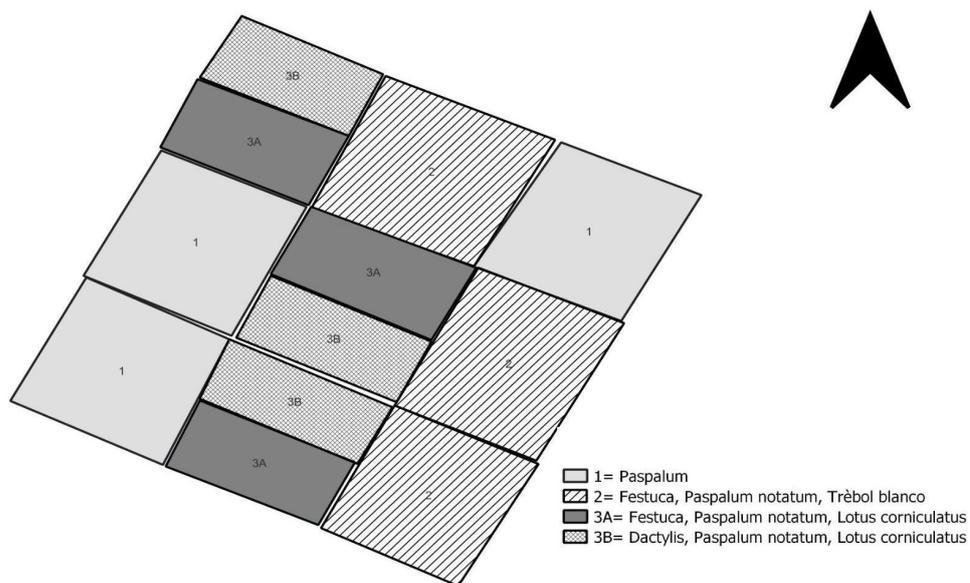
1- *Paspalum notatum* puro

2- *Festuca arundinacea*, *Paspalum notatum*, *Trifolium repens*

3A- *Festuca arundinacea*, *Paspalum notatum*, *Lotus corniculatus*

3B- *Dactylis glomerata*, *Paspalum notatum*, *Lotus corniculatus*

**Figura No. 4**  
*Croquis del área experimental*



### 3.2.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. El área experimental abarca una superficie de 2,25 hectáreas, que fue dividida en tres bloques.

Los bloques fueron divididos en cuatro parcelas, obteniéndose doce parcelas para evaluar. Las mezclas 1 y 2 tienen una dimensión de 50 x 50 m, mientras que en las mezclas 3A y 3B las dimensiones son de 50 x 25 m (ver figura 4).

### 3.3 DETERMINACIONES EN LA PASTURA

Para realizar determinaciones en pasturas sembradas es imprescindible tomar como punto de partida el tamaño de las parcelas, si es muy pequeño es posible medir toda la parcela, pero normalmente se necesita definir algún tipo de muestreo para estimar la media poblacional del atributo de interés (McIntyre, 1978).

#### 3.3.1. Determinación visual de componentes de la pastura

La colecta de datos se realizó en tres momentos diferentes dentro de la estación crítica considerada para la pastura. Las mediciones se realizaron previo al ingreso al verano (primera quincena de diciembre), durante el verano (mediados de febrero) y en el otoño (primera quincena de mayo). Se empleó el método visual, utilizando cuadrantes de 1 x 1 m, con 8 repeticiones aleatorias por parcela en cada momento de medición. Se usó un cuadrante con esa dimensión con el objetivo de reducir la heterogeneidad de la muestra y el impacto del borde cuando se trata de pasturas sembradas (Bonifacio & Fredericksen, 2000).

Según Cayley y Bird (1996) la cobertura vegetal que genera un grupo de especies sembradas se puede cuantificar visualmente utilizando una unidad de muestreo que se encuentre fraccionada proporcionalmente, para que el operador pueda juzgar fácilmente la medición.

Para cumplir con lo planteado por estos autores se hicieron evaluaciones visuales, con dicho cuadrante de 1 x 1 m subdividido internamente en cuatro partes iguales que representaban cada una un 25 % de la unidad, estimando las proporciones en porcentaje de la superficie verde, seca y descubierta.

#### 3.3.2. Contribución en peso por componente

Luego de la evaluación visual, con una unidad de muestreo de 0,25 x 0,25 m se recolectaron tres muestras de biomasa por cada parcela dentro de cada bloque en los mismos momentos en que se realizó el muestreo visual. Luego, en el laboratorio, se separaron todas las muestras individualmente en los distintos componentes de la mezcla, pesando y registrando su peso fresco y su peso seco posterior al secado hasta peso constante en estufa de aire forzado a 60 °C.

#### 3.3.3. Supervivencia de macollos

El seguimiento de los macollos se realizó desde el 20 de diciembre hasta el 2 de marzo en las mezclas 3A y 3B. La metodología consistió en tener una población objetivo de 72 macollos de *Festuca* y 72 macollos de *Dactylis*, divididos en 3 tamaños en ambas poblaciones. Por cada parcela dentro de cada bloque se ubicaron dos transectos con dos estacas, donde cada una tenía 4 macollos chicos, 4 macollos medianos y 4 macollos grandes.

La medición consistió en revisar, con intervalos entre 15 a 20 días aproximadamente, cada uno de los macollos marcados y registrar su estado fenológico. Macollos vivos se dejaban hasta la próxima medición y macollos muertos se sustituyeron por otro del mismo tamaño en activo crecimiento, con el fin de mantener constante la población y poder evaluar la evolución en la mortandad de macollos.

#### 3.3.4. Peso de macollo y estructura de hoja en las gramíneas

Se recolectaron muestras, de las parcelas con mezcla 3A y 3B, en los tres momentos indicados, pero con un diferencial de siete días con respecto a la medición de cobertura de suelo y contribución en peso.

Se tomó como unidad de medida un cuadro de 0,10 x 0,10 m para realizar cortes sobre la pastura de *Dactylis* y *Festuca*, recolectando 2 muestras de biomasa en cada parcela de cada bloque, para luego en laboratorio clasificar la muestra en 3 categorías de tamaño de macollo (grande, medio y chico) y registrar su proporción. En simultáneo se registró la densidad de macollos en la misma unidad de superficie, donde no se encontraron nuevos de macollos.

Una vez clasificado cada macollo se separaban por componente estructural (lámina y vaina), para poder calcular el aporte en porcentaje de la materia seca que representan cada estructura. El material se secó en estufa de aire forzado a 60 °C para determinar el peso en seco.

#### 3.3.5. Biomasa de forraje disponible y remanente post-defoliación

La disponibilidad de forraje es definida por Hodgson (1990) como la cantidad total de forraje existente en una unidad de superficie conocida, medida por corte a nivel del suelo o a algún tipo de referencia predeterminada.

Existen distintos métodos para la estimación de la fitomasa; para realizar una correcta estimación de la biomasa (disponibilidad) de forraje, es necesario contar con métodos de medición que sean precisos, ya que cualquier error en la misma implica pérdidas productivas y económicas para el sistema de producción (Sanderson et al., 2004).

El método empleado para estimar la biomasa de forraje disponible previo al pastoreo y la biomasa de forraje remanente luego del mismo, expresada en kg/ha de MS, fue el de rendimiento comparativo creado por Haydock y Shaw (1975). Esta metodología, según Sanderson et al. (2001), es muy utilizada por los investigadores debido a que aumenta la precisión de las estimaciones.

Para cada parcela muestreada, la unidad de muestreo utilizada por corte fue un cuadrante de 0,25 x 0,50 m, donde los cortes se realizaban al ras del suelo, recolectando dos muestras por cada punto de la escala de puntos utilizada (1 al 5, considerando valores crecientes de altura y de densidad de forraje). En cuanto a la altura del forraje fue medida con una regla graduada en centímetros, recolectando veinte medidas aleatorias por cada parcela en cada momento de muestreo. Las muestras se pesaron en fresco y en seco luego del secado en estufa de aire forzado a 60 °C.

### 3.3.6. Acumulación de forraje

Los valores de tasa de crecimiento de forraje (kg/ha/día de MS) se obtuvieron con datos de acumulación de biomasa entre el remanente de un pastoreo y la disponibilidad inicial de forraje a la siguiente defoliación. Las parcelas de *Paspalum notatum* puro fueron las únicas que admitieron pastoreo durante el período de evaluación, estos se dieron mensualmente en los siguientes momentos: 16 de diciembre de 2022 - 25 de enero de 2023 - 14 de febrero de 2023 - 22 de marzo de 2023 - 17 de mayo de 2023.

El manejo se llevó a cabo teniendo en cuenta un promedio de altura del forraje de 15-18 cm para ingresar a pastorear, y de unos 5-7 cm de remanente para retirar los animales de las parcelas. Antes de que los animales ingresen a pastorear se realizaba un doble muestreo para calcular la biomasa de forraje disponible y remanente, utilizando posteriormente estos datos para el cálculo de la tasa de crecimiento.

### 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado en este estudio se fundamenta en un diseño de bloques al azar con parcelas divididas, que incluye tres bloques (distintas zonas topográficas) y cuatro tratamientos (T) tal como se especifica en la sección 3.2. Manejo del experimento.

T1 - *Paspalum notatum* puro

T2 - *Festuca* - *Paspalum notatum* - *Trébol Blanco*

T3 - *Festuca* - *Paspalum notatum* - *Lotus*

T4 - *Dactylis* - *Paspalum notatum* - *Lotus*

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + (\beta\delta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - es el valor del j-esimo tratamiento, en el i-esimo bloque

$\mu$  - media poblacional

$\beta_i$  - efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  - efecto tratamiento (T1; T2; T3; T4),  $j = (1, 2, 3, 4)$

$(\beta\delta)_{ij}$  - interacción entre el i-ésimo bloque y el j-ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  - error aleatorio asociado a la j-ésima parcela en el i-ésimo bloque, que se asume que sigue una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

A partir de este modelo general, se realizan los ajustes necesarios para cada hipótesis especificada en la sección 2.5. HIPÓTESIS.

### 3.4.1 Hipótesis 1

Para la sobrevivencia de macollos de Festuca y Dactylis

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ). No existen diferencias significativas en la sobrevivencia de macollos entre Dactylis y Festuca durante cada momento de medición en la estación crítica de crecimiento.

$H_0: \mu_{\text{macollos,Dactylis}} = \mu_{\text{macollos,Festuca}}$

- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Dactylis presenta una mayor sobrevivencia de macollos en comparación con Festuca durante cada momento de medición en la estación crítica de crecimiento.

$H_A: \mu_{\text{macollos,Dactylis}} \text{ es diferente a } \mu_{\text{macollos,Festuca}}$

El modelo ajustado para evaluar la sobrevivencia de macollos es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - es el valor observado de la sobrevivencia de macollos para el  $j$ -ésimo tratamiento, en el  $i$ -ésimo bloque

$\mu$  - media general de la sobrevivencia de macollos

$\beta_i$  - efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  - efecto tratamiento (Dactylis o Festuca),  $j = (1, 2)$

$\epsilon_{ij}$  - error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

Para el aporte al total de la mezcla de las gramíneas invernales sembradas

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ). No existen diferencias significativas en el comportamiento estival de Dactylis y Festuca, para cada momento de medición, en términos de su aporte (en peso y/o cobertura) al total de la mezcla.

$H_0: \mu\%_{\text{AporteDactylis}} = \mu\%_{\text{AporteFestuca}}$

- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Dactylis tiene un mejor comportamiento estival que Festuca, para cada momento de medición, en términos de su aporte (en peso y/o cobertura) al total de la mezcla.

$H_A: \mu\%_{\text{AporteDactylis}} \text{ es diferente a } \mu\%_{\text{AporteFestuca}}$

El modelo ajustado para evaluar el aporte en cobertura es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - es el valor observado del aporte en peso y/o cobertura para el  $j$ -ésimo tratamiento en el  $i$ -ésimo bloque

$\mu$  – media general del aporte

$\beta_i$  – efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  – efecto tratamiento (Dactylis o Festuca),  $j = (1, 2)$

$\epsilon_{ij}$  – error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

### 3.4.2 Hipótesis 2

Para la colonización de *Paspalum*, en términos de aporte porcentual (en peso y/o cobertura) en las mezclas.

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ). No existen diferencias significativas en el aporte porcentual de *Paspalum notatum* al total de la mezcla, entre las mezclas 2, 3A y 3B, para cada momento de medición.

$H_0: \mu_{mezcla2} = \mu_{mezcla3A} = \mu_{mezcla3B}$

- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Existen diferencias significativas en el aporte porcentual de *Paspalum notatum* al total de la mezcla, entre las mezclas 2, 3A y 3B, para cada momento de medición.

$H_a$ : Al menos uno de los  $\mu_{mezcla_j}$  es diferente ( $j \in \{2, 3A, 3B\}$ )

El modelo ajustado para evaluar el aporte en cobertura es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - es el valor observado del aporte porcentual de *Paspalum* para el  $j$ -ésimo tratamiento en el  $i$ -ésimo bloque

$\mu$  – media general del aporte

$\beta_i$  – efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  – efecto tratamiento (2, 3A, 3B),  $j = (1, 2, 3)$

$\epsilon_{ij}$  – error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

Para el número de plantas de *Paspalum* en las mezclas

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ). No existen diferencias significativas en el número de plantas de *Paspalum notatum* entre las mezclas 2, 3A y 3B, para cada momento de medición.

$$H_0: \mu_{\text{mezcla2}} = \mu_{\text{mezcla3A}} = \mu_{\text{mezcla3B}}$$

- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Existen diferencias significativas en el número de plantas de *Paspalum notatum* entre las mezclas 2, 3A y 3B, para cada momento de medición.

$$H_a: \text{Al menos uno de los } \mu_{\text{mezclaj}} \text{ es diferente } (j \in \{2, 3A, 3B\})$$

El modelo ajustado para evaluar el aporte en cobertura es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - es el valor observado del número de plantas de *Paspalum* para el  $j$ -ésimo tratamiento en el  $i$ -ésimo bloque

$\mu$  - media general del aporte

$\beta_i$  - efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  - efecto tratamiento (2, 3A, 3B),  $j = (1, 2, 3)$

$\varepsilon_{ij}$  - error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

### 3.4.3 Hipótesis 3

Para el número de plantas por unidad de superficie

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ). No existen diferencias significativas en el número de plantas por unidad de superficie de *Paspalum notatum* entre las mezclas 2, 3A y 3B durante el verano

$$H_0: \mu_{\text{mezcla2}} = \mu_{\text{mezcla3A}} = \mu_{\text{mezcla3B}}$$

- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Existen diferencias significativas en el número de plantas por unidad de superficie de *Paspalum notatum* entre las mezclas 2, 3A y 3B durante el verano

$$H_a: \text{Al menos uno de los } \mu_{\text{mezclaj}} \text{ es diferente } (j \in \{2, 3A, 3B\})$$

El modelo ajustado para evaluar el aporte en cobertura es el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \delta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  - número de plantas de *Paspalum* por unidad de superficie, para el  $j$ -ésimo tratamiento en el  $i$ -ésimo bloque

$\mu$  - media general del número de plantas por unidad de superficie

$\beta_i$  – efecto bloque (B1; B2; B3),  $i = (1, 2, 3)$

$\delta_j$  – efecto tratamiento (2, 3A, 3B),  $j = (1, 2, 3)$

$\epsilon_{ij}$  – error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

El mismo modelo resulta aplicable para el tamaño de plantas.

#### 3.4.4 Hipótesis 4

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre las formas de medición ( $F_i=0$  para todos los  $i$ ).
- Hipótesis alternativa ( $H_A$ ): Hay diferencias significativas entre las formas de medición ( $F_i$  es diferente de 0 para al menos un  $i$ ).

El modelo ajustado para evaluar este juego de hipótesis es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + M_k + F_\iota + (\tau F)_\iota + (\tau M)_{ik} + (\tau MF)_{ik\iota} + \delta_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  : Valor observado en  $i$ -ésima mezcla en el  $j$ -ésimo bloque, en el  $k$ -ésimo momento de medición y usando la  $\iota$ -ésima forma de medición.

$\mu$ : Media general de la población

$\tau_i$ : Efecto de la mezcla donde  $i= 1,2,3,4$  (mezclas)

$\beta_j$ : Efecto del bloque, donde  $j= 1,2,3$  (topografías)

$\epsilon_{ij}$ : Error experimental asociado a las unidades experimentales dentro de los bloques

$M_k$ : Efecto del momento de medición, donde  $k = 1,2,3$  (diciembre, enero, febrero)

$F_\iota$ : Efecto de la forma de medición donde  $\iota = 1,2$  (peso y cobertura)

$(\tau F)_\iota$ : Interacción entre la mezcla y la forma de medición, que evalúa si las diferentes mezclas producen resultados diferentes en función de la forma de medición

$(\tau M)_{ik}$ : Interacción entre el momento de medición y el tratamiento

$(\tau MF)_{ik\iota}$ : Interacción triple entre el tratamiento, el momento de medición y la forma de medición, que evalúa si la relación entre el tratamiento y la forma de medición varía en el tiempo

$\delta_{ijkl}$ : Error experimental residual

### 3.4.5 Programas estadísticos

El análisis de los datos obtenidos se ejecutó en los programas estadísticos InfoStat (versión 2020) y R (versión 3.6.3).

#### *3.4.5.1 Prueba Tukey en InfoStat*

La prueba de Tukey, con significancia estadística ( $p \leq 0,05$ ), se empleó en las diferentes comparaciones entre mezclas, entre especies, para un mismo momento de medición y/o para momentos de medición diferentes, según lo indicado en cada hipótesis.

#### *3.4.5.2 Correlación (r) en InfoStat*

Se realizó un análisis de correlación entre la mortandad de macollos de Festuca y de Dactylis con la información de temperatura del aire promedio, temperatura sobre césped, radiación solar, evapotranspiración diaria, precipitación diaria e índice de bienestar hídrico, presentando en resultados información del coeficiente de correlación de Pearson de aquellas asociaciones con significancia estadística ( $p \leq 0,05$ ).

#### *3.4.5.1 Análisis de la varianza en R*

Para la comparación entre método de estimación empleados fue necesario recurrir a un análisis de la varianza con suma de cuadrados tipo III en R, necesario para suprimir un desbalance entre los datos obtenidos con ambos métodos. Esta metodología permitió comparar posibles interacciones entre momento de medición, especie sembradas, bloques y método de estimación.

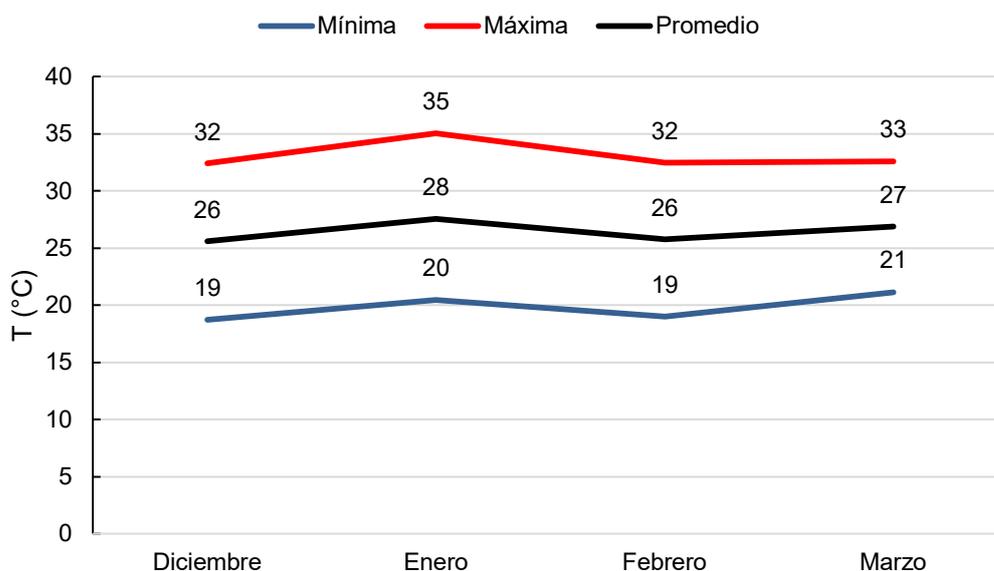
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 VARIABLES AGROMETEOROLÓGICAS

#### 4.1.1 Temperatura del aire

##### Figura No. 5

*Temperatura del aire (°C) promedio mensual para el sitio y período de estudio*



A partir de estos datos se pueden observar que el registro promedio más alto de temperatura se da en el mes de enero con una amplitud térmica de 15 °C. A su vez, para todo el período, las variaciones de la temperatura registrada fueron de 3 °C para la máxima y de 2 °C para la mínima y el promedio.

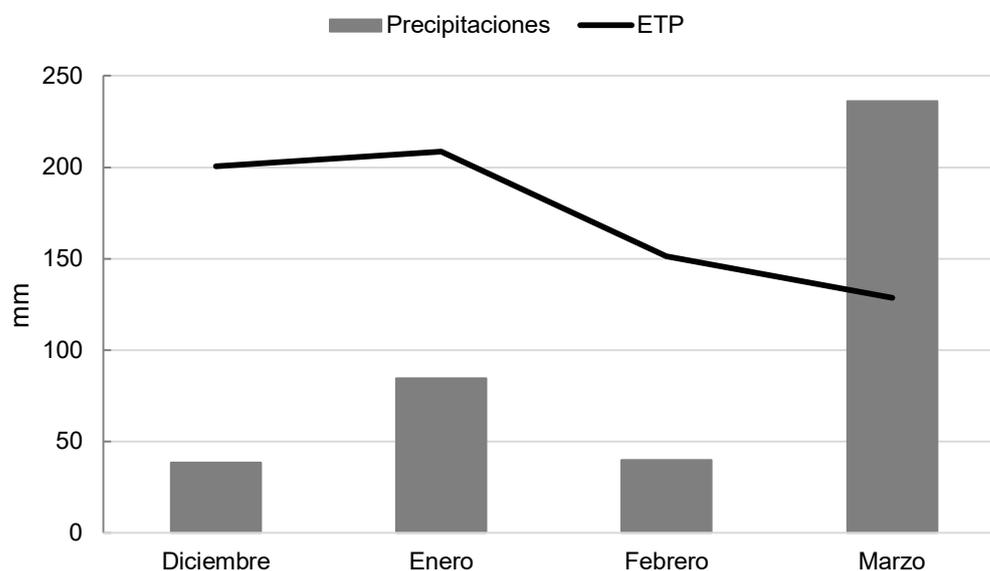
Al comparar los registros de estas variables dentro del período de estudio respecto al promedio histórico de 30 años de INIA se observa una tendencia similar en el comportamiento de la temperatura máxima pero diferente con la temperatura mínima, siendo ésta última más elevada en el período estudiado, generando un valor promedio más elevado.

En cuanto a los meses comprendidos en el período de evaluación se desprende que desde enero a febrero se da una similitud de comportamiento, con una notoria diferencia en el mes de marzo la cual marca un comportamiento atípico, donde los registros obtenidos en el año 2023 superan a la serie histórica mencionada.

#### 4.1.2 Evolución de la evapotranspiración potencial y régimen de precipitación

##### Figura No. 6

*Precipitación acumulada (mm) y evapotranspiración (mm) promedio mensual para el sitio y período de estudio*



En la gráfica se presentan registros de precipitación y evapotranspiración por mes, donde se puede observar que en diciembre, enero y febrero la evapotranspiración supera a la precipitación, generando déficits hídricos críticos en el sistema.

Por otro lado, en marzo, se da un comportamiento único para el periodo en donde la precipitación supera a la evapotranspiración ampliamente, registrando más de 200 mm de lluvias acumuladas, es importante destacar que este registro de precipitación se da a lo largo de todo el mes.

Comprando los datos del periodo de evaluación y los relevados históricamente (ver figura N° 3), ambas variables se comportan de manera similar, pero con un diferencial mayor, siendo en verano la evapotranspiración muy superior a las precipitaciones acumuladas y luego, en marzo, se registra un cambio donde las precipitaciones superan ampliamente a la evapotranspiración.

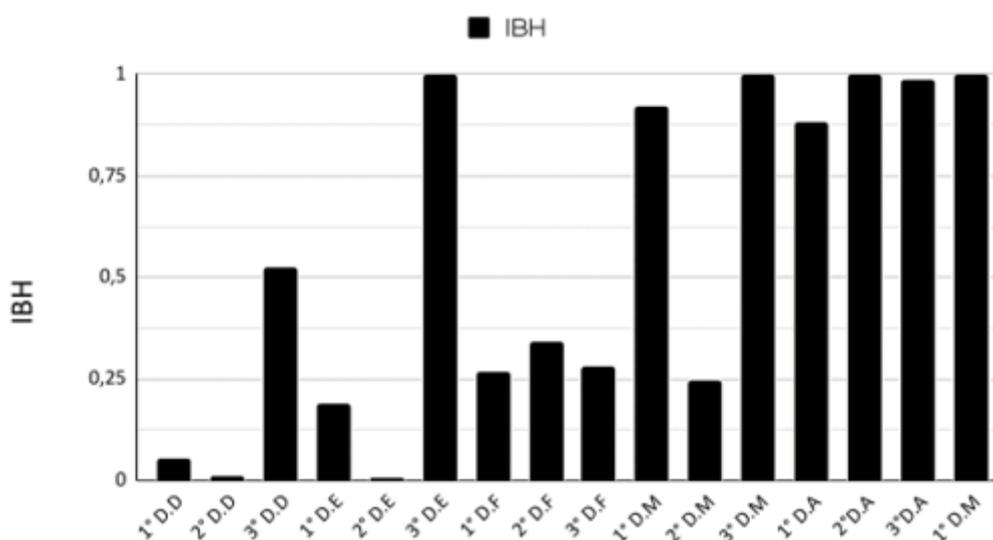
#### 4.1.3 Índice de bienestar hídrico

Como se puede ver en la figura 8 el IBH presentó una variación importante entre diciembre y mayo. Al momento del inicio de la evaluación ocurre un período de grave déficit hídrico, con valores de IBH inferiores a 0,2 (primera y segunda décadas de diciembre y de enero), representando el 25 % del periodo de evaluación. Se registraron momentos en el que el suministro de agua fue periódico y restrictivo, provocando la pérdida de biomasa (IBH entre 0,2 y 0,5), representando el 31 % del periodo de evaluación. Este valor se concentra principalmente en la tercera década de diciembre, todo el mes de febrero y la segunda década de marzo. Desde el inicio del estudio hasta fines de marzo, si bien se registraron eventos de precipitaciones estos no fueron de gran volumen, lo que no llegó a recargar el suelo en un momento en el cual la ETP es alta.

El IBH comienza a registrar valores aproximados a uno desde fines de marzo en adelante, es ahí donde las precipitaciones comienzan a ser más abundantes, coincidiendo además con el comienzo del descenso de la evapotranspiración potencial en el suelo.

### Figura No. 7

*Evolución del IBH en el sitio experimental, medido cada 10 días, para el periodo de evaluación*



*Nota.* En el eje horizontal cada registro indica con número y letra el orden de cada década dentro de cada mes para el período de estudio. Ejemplo: 1° D.D (primera década de diciembre).

## 4.2 COMPORTAMIENTO ESTIVAL DE FESTUCA Y DACTYLIS EN MEZCLAS CON COMPONENTES PERENNES ESTIVALES

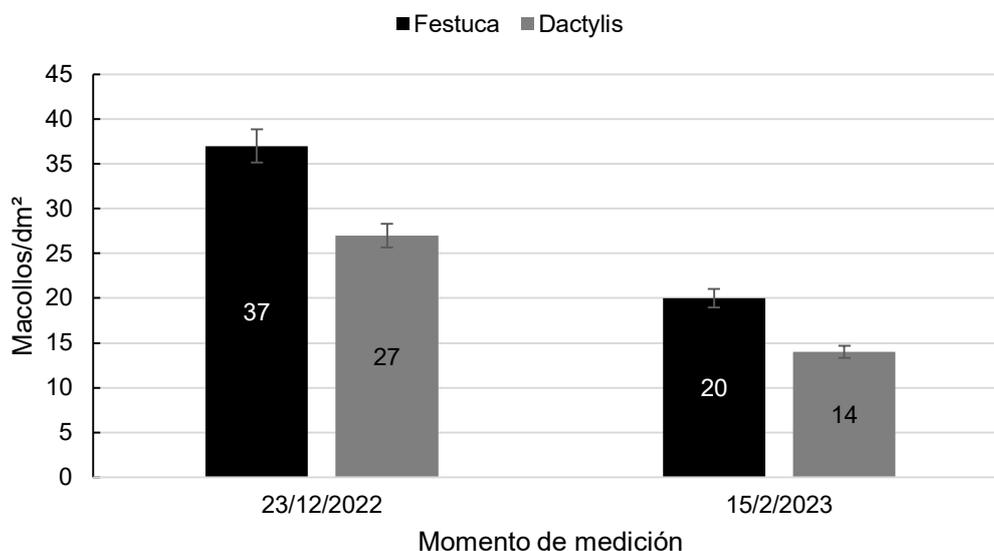
### 4.2.1 Dinámica poblacional de macollos en verano

#### 4.2.1.1 *Densidad de macollos*

Al ingresar el verano, ambas especies presentan el mayor número de macollos por planta como producto de una mayor tasa de macollaje en la estación anterior. Durante la estación crítica de sobrevivencia para los macollos la densidad de individuos por planta disminuye hasta alcanzar un mínimo registro. Esta disminución, dada por la muerte de macollos entre diciembre y febrero, fue similar para ambas especies (46 % en Festuca y 48 % en Dactylis).

**Figura No. 8**

*Número de macollos por unidad de superficie de Festuca y Dactylis en verano*



En la estación crítica la mortalidad de los macollos prevalece por sobre la aparición de nuevo individuos y pasa a cobrar importancia el tamaño de los macollos sobrevivientes para determinar una buena densidad por planta (Bertín & Rosso, 1988). Macollos de menor tamaño, son los primeros en morir como resultado de la competencia por luz por parte de los macollos más grandes y, en estas condiciones, probablemente muchas yemas aborten y no lleguen a formar macollos (Scheneiter, 2005).

En las mediciones realizadas el porcentaje de macollos sobrevivientes en la estación crítica no fue significativamente diferente entre especies, sí existe significancia estadística para una misma especie entre los diferentes momentos de medición.

#### 4.2.1.2 Mortalidad de macollos

Los datos obtenidos muestran un comportamiento similar en la tasa de mortalidad estacional de macollos entre ambas gramíneas invernales, sin diferencias estadísticas entre especies.

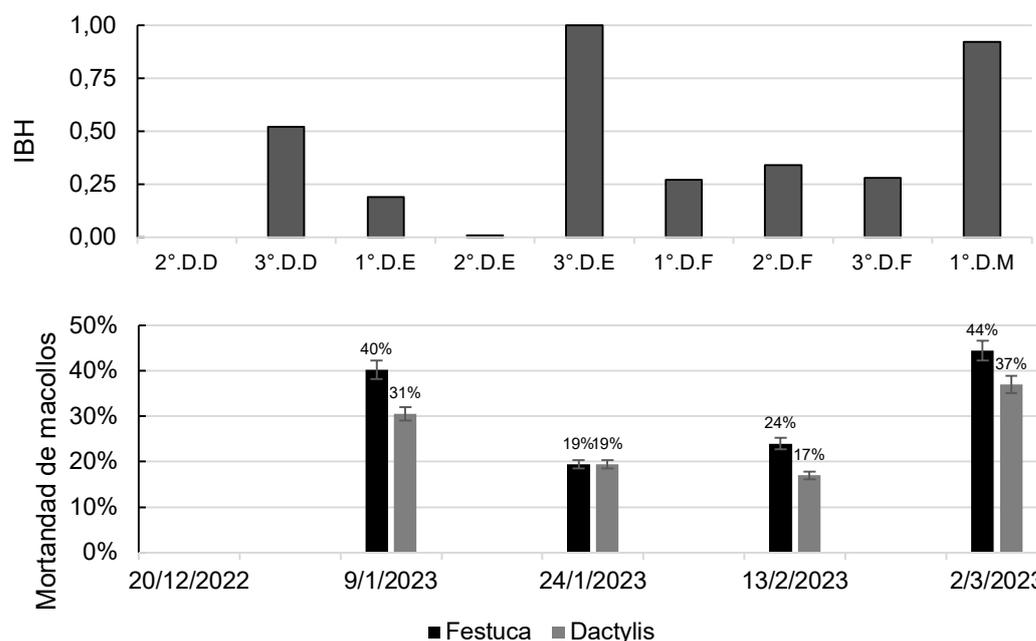
En la figura 9 se puede observar que los valores más altos de mortalidad registrados en el período coincidieron con valores donde el IBH fue bajo en momentos previos a las mediciones, como ocurrió desde la segunda década de diciembre a la segunda década de enero, y, durante todo febrero.

El 24 de enero la tasa de mortalidad descendió notoriamente, para ambas especies, respecto a la medición anterior. Esto coincide con la ocurrencia de precipitaciones que se registraron ante y durante esos días y un nivel de IBH de 1 durante la tercera década de enero.

Un caso particular se dio en la medición del 2 de marzo donde se registra la mayor mortalidad para ambas especies. Esto puede explicarse porque, durante 25 días antes de esta medición, se registraron valores de IBH menores a 0,5 y picos máximos de temperatura del aire entorno a los 35°C.

**Figura No. 9**

*Evolución de la proporción de macollos muertos de Festuca y Dactylis y del IBH*



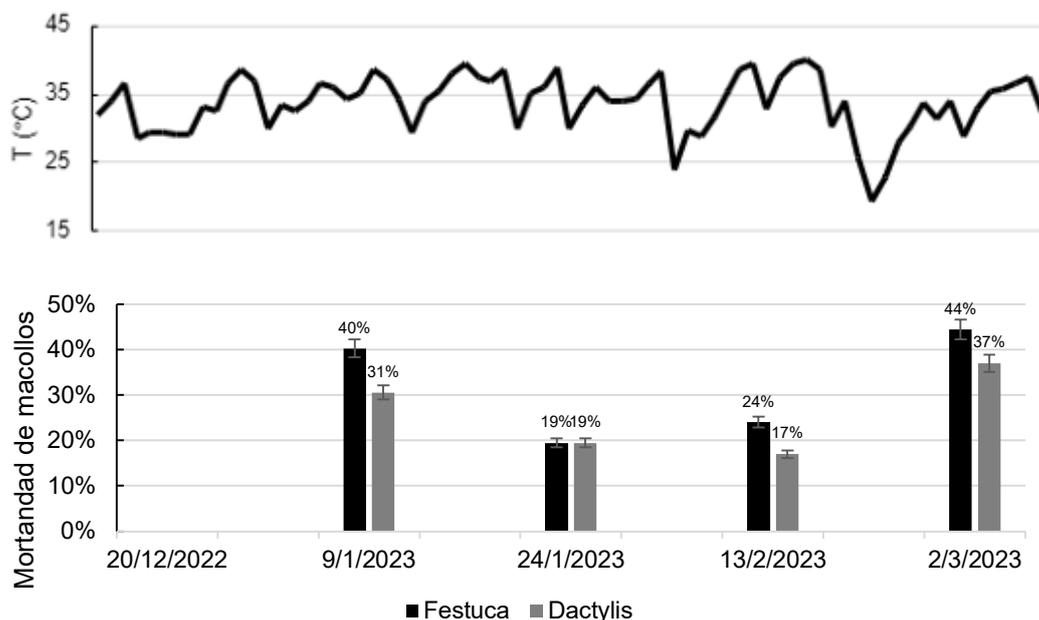
*Nota.* Cada medición corresponde al comportamiento de los macollos en un intervalo de tiempo entre la medición actual y la anterior.

Según Cross et al. (2013) la mortandad de plantas de Festuca durante el verano, es afectada por altas temperaturas medias diarias (30°C). Las plantas que pueden sobrevivir en verano son probablemente capaces de hacerlo debido a un mayor nivel de tolerancia al calor que otras plantas que quedan en condición de reposo o simplemente mueren, ambas condiciones asociadas al tamaño del macollo en cuestión.

Esto último concuerda con lo demostrado por Jáuregui et al. (2017) y Scheneiter et al. (2019) quienes concluyen que la mayor mortandad de macollos y posterior disminución de la densidad de plantas se da en los meses donde las temperaturas son mayores, superando los 25°C. Desde diciembre a marzo la temperatura promedio del aire se encontró en el eje de los 23° - 26°C, registrando valores máximos entre 32 y 34 °C durante ese período (ver figura 5).

**Figura No. 10**

*Evolución de la proporción de macollos muertos de Festuca y Dactylis y temperatura sobre césped*



*Nota.* Cada medición corresponde al comportamiento de los macollos en un intervalo de tiempo entre la medición actual y la anterior.

Las condiciones de estrés que se dieron previo al 2 de marzo generaron un aumento en la mortandad de macollos de un 83 % para Festuca y 117 % para Dactylis con respecto a la medición anterior, donde los macollos estuvieron en mejores condiciones agrometeorológicas.

Según Jáuregui et al. (2020), variaciones de 1 °C a nivel de los puntos de crecimiento resultarían en cambios de aproximadamente 5 °C a nivel de las hojas de la misma planta, lo que evidencia que aumentos en la temperatura del aire generan cambios exponenciales a nivel de las hojas de los macollos, aumentando la tasa de mortandad, principalmente cuando se generan olas de calor sostenidas en el tiempo.

**Tabla No. 8**

*Coeficiente de correlación entre mortandad de macollos las especies invernales y variables agroclimáticas relevantes*

<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>r</b>
Mortandad de macollos de Festuca	Radiación solar por Heliofanía (cal/cm2/día)	0,56
	Temperatura sobre césped (°C)	0,92
Mortandad de macollos de Dactylis	Índice de Bienestar Hídrico	-0,30
	Temperatura sobre césped (°C)	0,95

*Nota.* Además de las variables radiación solar, índice de bienestar hídrico y temperatura sobre césped que presentaron significancia ( $p \leq 0,05$ ), se utilizaron en el análisis la temperatura ambiente promedio, evapotranspiración y precipitaciones diarias, pero no presentaron significancia ( $p \geq 0,05$ ).

Coincidiendo con lo que indican Ayala et al. (2010), cuando la temperatura media del aire y sobre el suelo aumentan la mortandad de macollos aumenta para ambas especies. En este trabajo se encontró una relación entre la mortandad de macollos de Festuca y Dactylis con la temperatura sobre césped que coincide con lo encontrado por los autores mencionados anteriormente.

Según García (1996) Dactylis presenta la ventaja de una mayor temperatura óptima (25 °C) de crecimiento entre las gramíneas forrajeras de origen templado, además de ser más eficiente utilizando el agua del suelo en el verano, lo que le confiere una mayor capacidad de sobrevivir a la estación crítica generando un mejor desempeño en la supervivencia estival con respecto a la fisiología de Festuca, pero en este trabajo no se comprobó dicho efecto.

Los resultados visualizados para radiación solar en Festuca son acordes a los reportados por Daghero y Fripp (2021) quienes expresan que al disminuir la radiación se favorece la supervivencia de los macollos, principalmente los de menor tamaño, indicando que la radiación solar es un factor determinante en la disminución de la supervivencia de este tipo de macollo.

Con respecto a Dactylis, el IBH presentó una correlación negativa con la mortandad de macollos indicando que la disponibilidad de agua en el suelo presenta un efecto sobre la supervivencia de los macollos. Esto coinciden con lo señalado por García (2003), quien indica que el crecimiento estival de esta gramínea presenta interacción con el nivel agua disponible en el suelo.

#### 4.2.1.3 Supervivencia de macollos diferenciados por tamaño

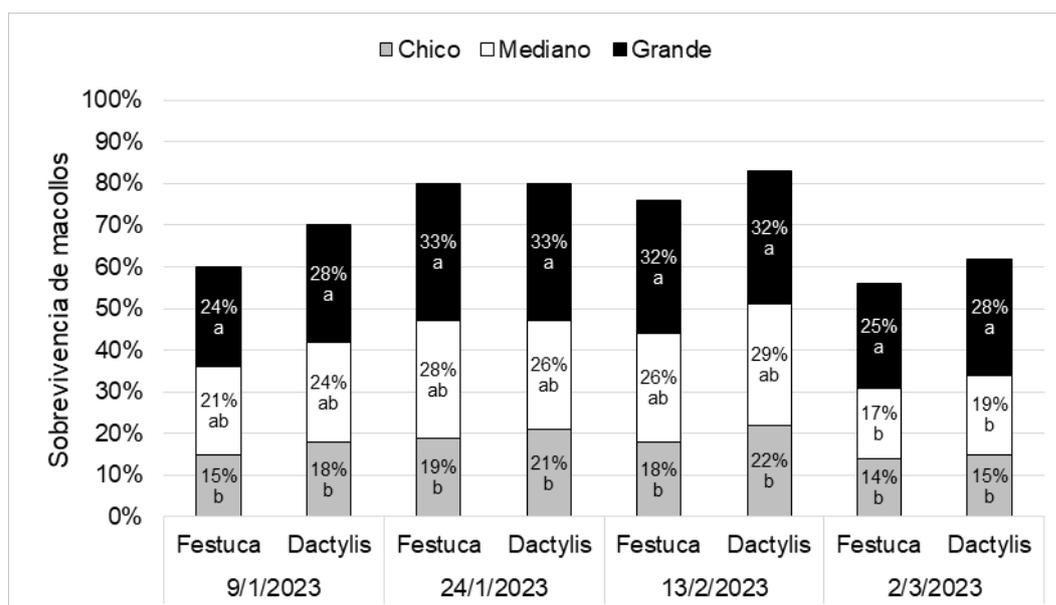
Los resultados obtenidos en este estudio evidencian variaciones significativas en la supervivencia de macollos de Festuca y Dactylis cuando son categorizados según su tamaño.

La distribución porcentual de la supervivencia de macollos de las gramíneas mencionadas presentó un patrón común, el cual indica que la supervivencia de estas estructuras vegetativas cobra mayor relevancia cuando son de mayor tamaño.

Hoehn (1968), Ong et al. (1978) y Scheneiter (2005), resaltan que macollos con menor tamaño, son más susceptibles de morir en condiciones ambientales desfavorables como se dieron en el transcurso del verano en cuestión. Michelini (2016) señala además que hay una tendencia de mayor supervivencia de macollos que se sitúan en parches medios y altos con respecto a parches bajos en mediciones realizadas sobre una pastura de Festuca.

#### Figura No. 11

*Distribución porcentual de la supervivencia de macollos de Festuca y Dactylis, diferenciados por tamaño, durante el verano*



*Nota.* Medias de tamaños de macollos con una letra en común, dentro de la misma especie y momento de medición, no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ).

Durante el verano, la supervivencia de macollos pequeños de Festuca tuvo valores entre 10 % a 20 %, a pesar de que en ciertos momentos el IBH superó el valor crítico de 0,5. Este comportamiento sugiere que, aunque las condiciones hídricas fueron adecuadas, otros factores pudieron estar limitando el crecimiento de esta especie. En línea con esto, Chapman et al. (2011) mencionan que Festuca presenta un cese en su crecimiento y rebrote cuando las temperaturas son elevadas, lo que podría explicar la baja supervivencia observada en macollos pequeños durante los meses más calurosos.

Por otro lado, se observó que la supervivencia de macollos tanto de Festuca como de Dactylis fue significativamente mayor en los macollos de mayor tamaño en comparación con los pequeños, sin diferenciarse de los macollos medianos durante el

período de medición. Este hallazgo es consistente con lo que Daghero y Fripp (2021) concluyen, donde la sobrevivencia de macollos de *Dactylis* aumenta cuando las condiciones de sombreado incrementan, generando un microclima de menor radiación incidente y temperatura. Es probable que el tamaño mayor de los macollos contribuya a una mejor respuesta de esta especie a las condiciones climáticas adversas.

En marzo, a pesar de condiciones hídricas favorables, *Festuca* presentó menor cobertura de suelo y no logró superar la sobrevivencia total de *Dactylis*, la cual, según Ayala et al. (2017), muestra un comportamiento diferencial en respuesta al agua disponible en el suelo, donde resaltan que aumentos en la disponibilidad de agua favorecen la sobrevivencia total de macollos, incluyendo aquellos de menor tamaño, lo que indica una fisiología adaptativa de *Dactylis*.

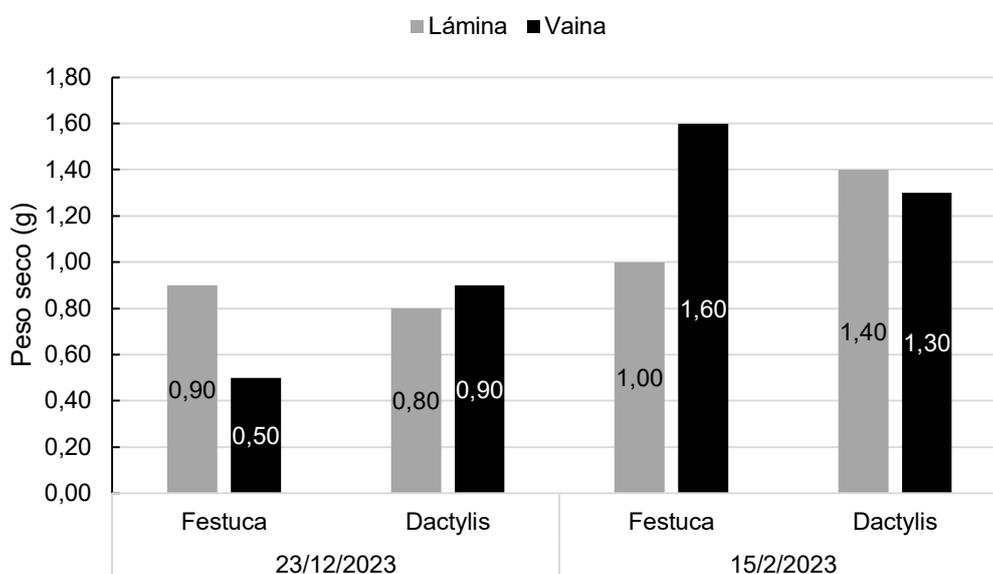
Finalmente, es relevante mencionar que, cuando *Dactylis* forma parte de mezclas, presenta un notable rebrote en verano bajo condiciones ambientales favorables, lo que se asocia con un mecanismo intrínseco que favorece el recambio de tallos y el incremento en densidades para colonizar áreas con alta radiación y disponibilidad de agua (Dabkevičienė et al., 2013). Flores (2018) refuerza esta observación al señalar que *Dactylis* presenta tasas de supervivencia superiores al 90 % entre diciembre y marzo, siempre que no sea sometida a períodos prolongados de déficit hídrico. Esto destaca la resiliencia de *Dactylis* y su capacidad para establecerse eficazmente en un entorno competitivo durante los meses más cálidos.

#### 4.2.1.4 Efecto sobre el peso de vaina y lámina de las gramíneas invernales durante el verano

La asignación de materia seca entre las estructuras vegetativas de *Dactylis* y *Festuca* presentaron diferencias significativas, las que pueden estar influenciadas por las condiciones ambientales y la convivencia espacial con las demás especies de las mezclas.

#### Figura No. 12

*Peso seco de las diferentes estructuras de hoja de Dactylis y Festuca durante el período crítico de supervivencia.*



En *Dactylis*, se observó un aumento en el peso total la hoja con una distribución de materia seca similar entre lámina y vaina durante el verano. En diciembre la lámina conformaba el 47 % del peso total de la hoja, y en febrero este llegó a un valor de 52 %; lo que indica un crecimiento levemente superior en el peso de lámina. Este patrón de crecimiento puede estar relacionado con el crecimiento vegetativo en verano, según indica García (2003).

Otro factor que explica esta partición de peso es la interacción de *Dactylis* con otras especies, pues según Rojas et al. (2016) el peso de hoja en siembra pura es menor al peso de hoja de la especie sembrada en mezcla con una leguminosa y otra gramínea perenne. Castro et al. (2012) al evaluar *Dactylis* asociado con raigrás perenne y trébol blanco, encontraron que las interacciones entre especies pueden modificar significativamente la asignación de recursos.

En contraste, *Festuca* mostró un mayor crecimiento de vaina que de lámina durante el verano, en donde ésta última formaba el 64 % del peso total de la hoja y en febrero pasó a formar el 38 %. Es importante mencionar que Formoso (2010a) observó que *Festuca*, entre septiembre y marzo prioriza la asignación de recursos al alargamiento de entrenudos de macollos grandes sobre la expansión de las láminas de macollos pequeños. Este proceso, programado genéticamente, difiere tanto en magnitud como en periodo con respecto a *Dactylis*, lo que refuerza la idea de que las estrategias de crecimiento y asignación de materia seca son diferentes entre estas dos especies.

#### 4.2.2 Contribución de los componentes de la mezcla en verano y otoño

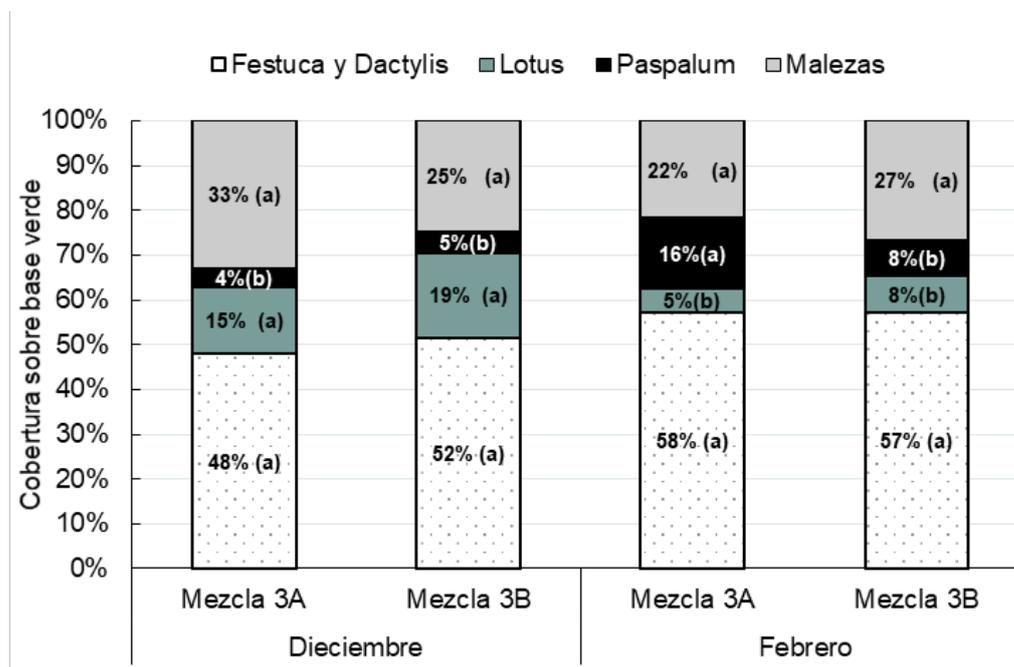
##### *4.2.2.1 Cobertura por estimación visual de los componentes*

En la figura 13 se observa que, para ambas mezclas, antes de comenzar el verano (primera quincena de diciembre) *Festuca* (en mezcla 3A) y *Dactylis* (en la mezcla 3B), representan alrededor del 50 % de la cobertura de suelo, sin diferir significativamente entre sí para esta medición.

Luego en febrero, la contribución en proporción de estas especies con respecto a los demás componentes de la mezcla aumenta sin diferir significativamente entre la gramínea invernal de la mezcla 3A y la de la mezcla 3B. Este incremento no significa un crecimiento del volumen de estas especies, sino que aumenta su relación en cuanto a los demás componentes.

**Figura No. 13**

*Contribución por componentes de las mezclas 3A y 3B, según cobertura de suelo en verano*



*Nota.* Contribuciones porcentuales de cierto componente, dentro de un mismo momento de cosecha, con una letra en común, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

En la comparación no se logró comprobar un mayor crecimiento estival de Dactylis debido a que, si bien tiene mayor tolerancia al déficit hídrico (García, 2003), el mismo fue de tal magnitud que no se llegó a expresar su ventaja fisiológica. También indica que Dactylis presenta mayor resistencia a sequías permitiéndole soportar en la época estival IBH más bajos como ocurrió en el 50 % del período de estudio.

La componente leguminosa, por otro lado, presenta una tendencia hacia la disminución de la cobertura a medida que transcurre el verano presentando una reducción entre diciembre a febrero del 67 % en la mezcla 3A y 58 % en la mezcla 3B. Dicha reducción puede deberse a las condiciones agroclimáticas del verano donde Lotus, al estar en un período con altas tasas de crecimiento (Formoso, 1993), sufrió los efectos nocivos de las altas temperaturas y los períodos sin agua en suelo.

Paspalum aumentó su participación entre diciembre y febrero en ambas mezclas, con valores de aumento del 300 % en la mezcla 3A y del 60 % en la mezcla 3B, presentando diferencias significativas entre mezclas únicamente para las mediciones de febrero. En la mezcla donde se registró el valor más alto, el efecto se podría atribuir a la componente gramínea perenne invernal que presenta un ciclo productivo diferente y a Lotus que presentó diferencias estadísticas entre mezclas y momentos de medición. Según Chapman et al. (2011) Festuca es un componente que presenta mayor vulnerabilidad al estrés hídrico en comparación con Dactylis.

El componente maleza disminuyó un 33 % en la mezcla 3A y aumentó un 8 % en la mezcla 3B. Estos resultados pudieron presentar una sobreestimación del

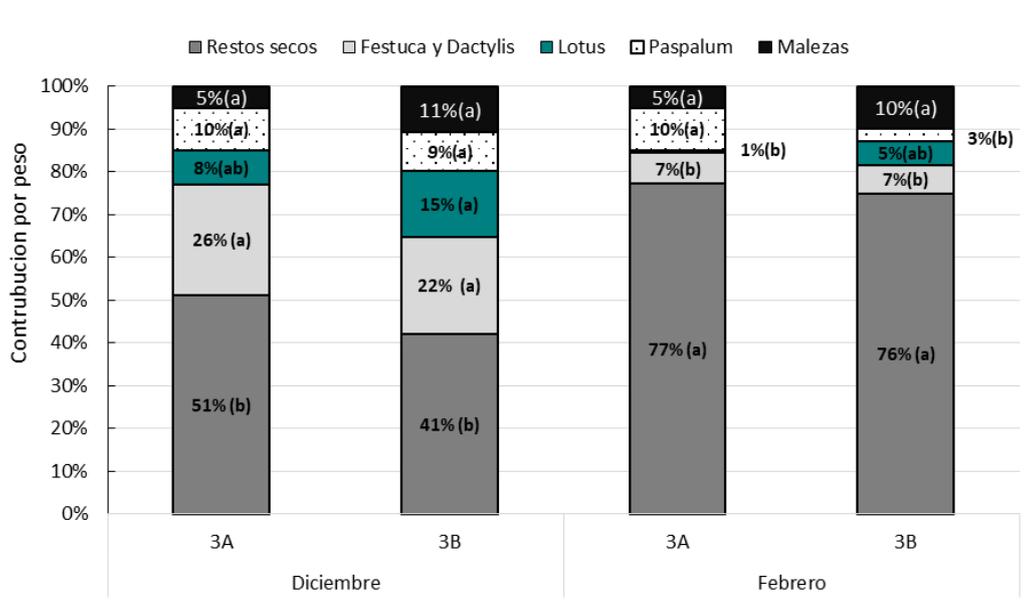
componente debido a que, en su medición, distintos parámetros como densidad y relación tallo/hoja no se apreciaron (Fernández, 2004).

#### 4.2.2.2 Cobertura por contribución en peso de los componentes

A diferencia de lo reportado en la sección anterior, la cobertura por contribución en peso de los componentes refleja una menor participación de la biomasa aérea de las gramíneas invernales, Lotus, malezas y Paspalum sobre el total, y la importante contribución de los restos secos.

#### Figura No. 14

Proporción de peso de los diferentes componentes de la mezcla 3A y 3B en verano



*Nota.* Contribuciones porcentuales de cierto componente, dentro de un mismo momento de cosecha, con una letra en común, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Entre mezclas, todos los componentes productivos disminuyeron. Festuca tuvo una reducción del 73 %, Dactylis 68 %, Lotus en 3A 88 % y en 3B 67 %, y, las malezas mantuvieron su participación en ambas mezclas. La caída en la participación de las especies productivas se vio reflejada en un aumento de 51 % de restos secos en la mezcla 3A y de 85 % en la mezcla 3B.

García (1996) sostuvo que, en verano, Dactylis Oberón se mantiene verde y produce forraje dependiendo de las lluvias; en cualquier caso, siempre produce más forraje que Festuca, aunque esto no se pudo comprobar en este trabajo. Carámbula y Terra (2000) indican que la Festuca en verano presenta una gran parte de hojas secas en comparación con Dactylis, pero con mayor marchitamiento de las hojas verdes además de menor tamaño de sus hojas, condición que no se registró entre especies, pero si entre momentos de medición (ver figura 12).

También se observó una misma tendencia en la comparación de las dos mezclas con respecto a los restos secos, ya que en este método de medición la Festuca no presentó diferencia en peso con respecto a Dactylis que posee una performance productiva distinta (García, 2003).

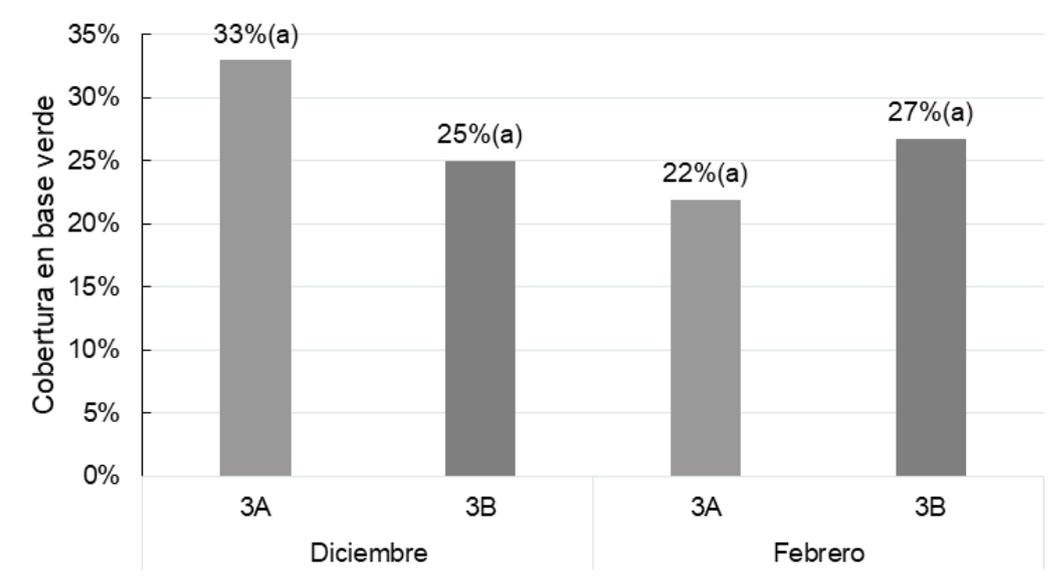
#### 4.2.2.3 Evolución del nivel de enmalezamiento en las mezclas

Para observar la evolución de las malezas en donde el diferencial entre ellas es la gramínea invernal, se compararon las mezclas 3A y 3B con los dos métodos de estimación empleados.

Ambos métodos presentaron diferencias debido a la estructura de las malezas. Mediante el método visual se observó un mayor aporte de las malezas en lo que respecta a cobertura en comparación con el aporte por peso de estas. La diferencia en dicha estimación se debió al escaso peso de éstas, es decir que las malezas que se observaron tenían una gran cobertura del suelo, pero a su vez estaban en los estratos más bajos, mayormente compuesto por especies con bajo porte.

#### Figura No. 15

Cobertura de las malezas en proporción a los otros componentes de mezclas 3A y 3B



*Nota.* Contribuciones porcentuales dentro de un mismo momento de cosecha, con una letra en común, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

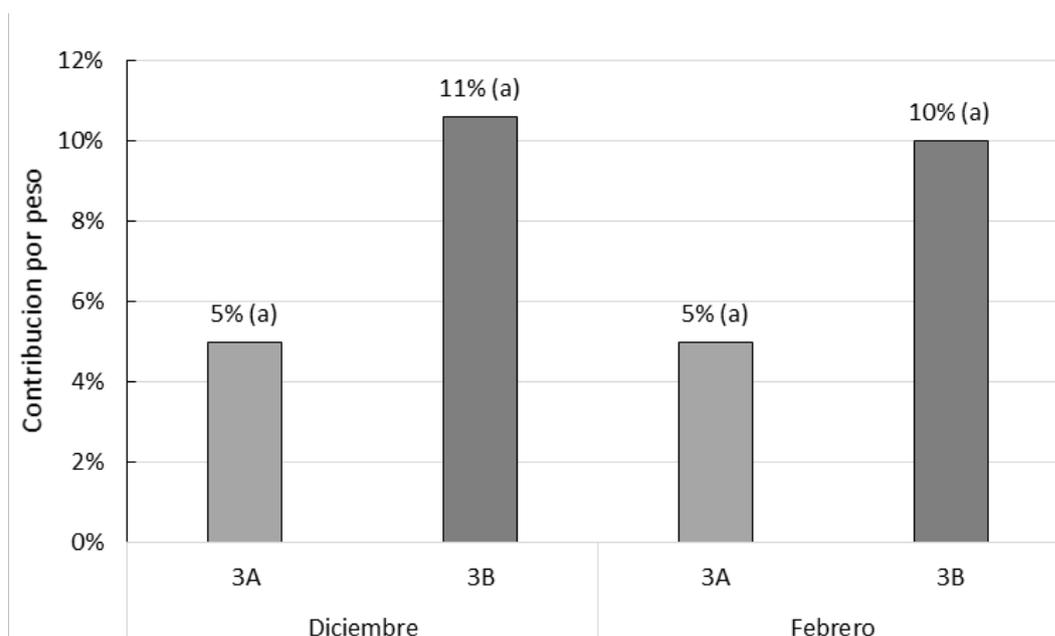
En la mezcla 3A se observó una reducción del 33 % en la participación de las malezas en la cobertura entre diciembre y febrero, mientras que su participación a la biomasa no se modificó (valor del 5 % de aporte a la biomasa en ambas fechas). Posteriormente ocurrió un notorio aumento hasta mayo, incrementando su participación 50 % cuando se expresa en cobertura visual y 200 % cuando se expresa en peso (ver anexos B y C).

En la mezcla 3B, entre diciembre a febrero ocurre un incremento en su presencia del 18 % pero con una reducción en su participación a la biomasa de 9 %. Posteriormente a mayo aumenta su incidencia con un leve incremento de 11 % en cobertura y un aumento muy importante del 80 % en su peso (ver anexo B y C).

Al no seguir la misma tendencia en los métodos de medición, se puede inferir que la diferencia está asociada a que el componente maleza es de diversidad multiespecífica con hábitos de crecimiento y ciclos productivos diferentes.

**Figura No. 16**

*Peso de las malezas en proporción a los otros componentes de las mezclas 3A y 3B*



*Nota.* Contribuciones porcentuales dentro de un mismo momento de cosecha, con una letra en común, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

En la figura 16 se visualiza que el peso de las malezas no difirió significativamente en función de la gramínea invernal de la mezcla (*Festuca* o *Dactylis*).

Los resultados arrojaron ciertas discordancias con lo que presentó García (1996), el cual llegó a la conclusión de una de las características de *Dactylis* Oberón es su capacidad de crecer en verano, lo que unido a su hábito más erecto respecto a la *Festuca* Tacuabé hace que ejerza muy buena competencia hacia especies como *Cynodon dactylon* y otras malezas.

Sanderson et al. (2004) indica que al agregar *Paspalum*, por tratarse en su mayoría de plantas con metabolismo C4, su inclusión generaría una importante competencia con las posibles malezas disminuyendo sus probabilidades de colonización. La inclusión de especies ha sido probada como una alternativa útil para aumentar la resistencia a la invasión en pasturas.

Con esto se llegó a que la cantidad de malezas en las mezclas 3A y 3B no presentaron las diferencias teóricas que se habla anteriormente, por lo que se puede inferir que el motivo de este suceso sea la incorporación del *Paspalum* a la mezcla, en donde la mezcla 3A que posee mayor presencia de *Paspalum* equipara la ventaja que teóricamente tiene *Dactylis* sobre las malezas. Aun así, cabe destacar que todos estos métodos de competencia frente a las malezas se vieron notoriamente mermados en las condiciones de déficit hídrico que presentó el verano, planteando la interrogante si en un año con mejores condiciones hídricas, el mayor aporte de *Paspalum* se asemeja en presión sobre las malezas como lo hace el *Dactylis* en verano.

### 4.3 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE *PASPALUM NOTATUM* EN MEZCLA CON DIFERENTES COMPONENTES.

#### 4.3.1 Efecto sobre la cobertura del suelo

En la siguiente figura se observa que si se compara cual leguminosa favorece el crecimiento de Paspalum, éste fue mejor en las parcelas que tienen Trébol blanco, básicamente por la baja población de esta especie.

Para todas las mezclas, sin diferenciarse componente leguminosa invernal u estival, no se encontraron diferencias estadísticas entre un momento de medición y otro. En lo que conlleva a la comparación en cobertura de suelo de Paspalum en interacción con las gramíneas invernales tampoco presentó diferencia significativa.

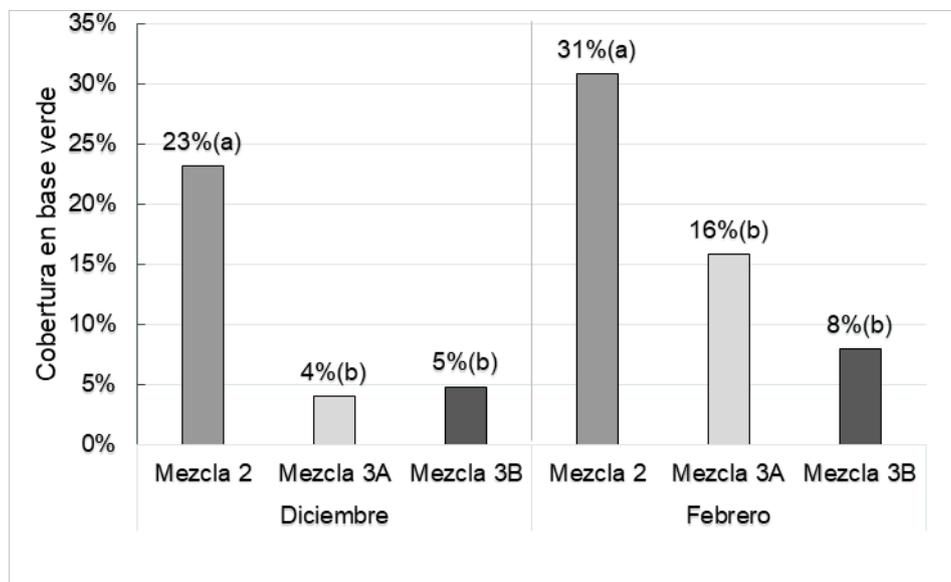
Al realizar la comparación entre mezclas se obtuvo que Paspalum en la mezcla 2 aumentó un 35 % su partición en verano, mientras que en la mezcla 3A y 3B el aumento fue de 300 % y 60 %, respectivamente. Este comportamiento puede relacionarse con el nivel inicial de cobertura de Paspalum con que parte cada mezcla al inicio del verano, además del nivel de participación diferencial de la componente leguminosa en estas. La mezcla 2 presenta un nivel de participación insignificante de Trébol blanco, pero a inicios de verano comienza con niveles altos de cobertura de Paspalum, mientras que en las demás mezclas ocurre lo contrario iniciando el período estival con mayor aporte del Lotus y escasa participación del Paspalum.

Por otro lado, cabe destacar que, entre las mezclas que poseen Lotus como componente leguminosa la diferencia puede ser explicada por el comportamiento productivo distinto en la componente gramínea perenne invernal que integra cada una. Según García (1996) el *Dactylis* encaña a principios de noviembre mientras que la *Festuca Tacuabé* lo hace a principios de octubre, lo que, junto a su menor resistencia al estrés hídrico, se infiere que termina su ciclo más temprano que el *Dactylis*, dejando más favorable el ambiente para que el Paspalum tenga menor competencia. Además, este autor reporta que Paspalum a largo plazo afecta las leguminosas (especialmente del género *Trifolium*) y deteriora la performance de *Festuca*.

En el tercer año las gramíneas perennes comienzan a dominar el tapiz y disminuye la presencia de las leguminosas (Formoso, 2011), esto afirma la mayor cobertura de Paspalum en la mezcla con *Festuca* y Trébol blanco, pero no así en la comparación entre *Festuca* y *Dactylis*, ya que estos no presentaron una diferencia significativa en lo que respecta a este parámetro.

**Figura No. 17**

Cobertura de *Paspalum* en proporción a los otros componentes de las mezclas 2, 3A y 3B



Nota. Contribuciones porcentuales dentro de un mismo momento de cosecha, con una letra en común, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Según Rechcigl et al. (1993) *Paspalum* por su hábito de crecimiento y propiedades fisiológicas se comporta como una gramínea agresiva con respecto a gramíneas invernales en el verano. Además, Costa Ricagno (2015) también expresa que esa característica agregada a su metabolismo C4, la convierte en una gran competidora contra malezas estivales como la *Cynodon dactylon*. En este trabajo se logró demostrar que el componente *Paspalum* no fue capaz de expresar esa agresividad en lo que respecta a la competencia por el espacio a medida que avanzaba el verano, esto pudo deberse en gran medida a las condiciones de déficit hídrico en gran parte del período. Además, finalizando el verano y comenzando el otoño, *Paspalum* pierde mucho espacio frente a los otros componentes de la mezcla (ver anexo B).

Giorello (2020) expresa que *Paspalum notatum* es una especie que presenta elevada longevidad y estabilidad de la población de macollos, característica que le confiere elevado potencial de adaptación. Su sistema radicular le permite tolerar períodos de sequía, así como también períodos de anegamiento, sin muerte de plantas en ambas condiciones. Una de las razones de la buena tolerancia a la sequía del *Paspalum notatum* es la presencia de cera en las láminas foliares. Además, el género *Paspalum* reduce la tasa fotosintética de asimilación neta, como una forma de amortiguar el efecto de la falta de agua (Pizarro, 2002).

#### 4.3.2 Número de plantas en verano

Como se observa en la figura 18 *Paspalum* mantiene la misma tendencia observada en la cobertura de la especie entre las mezclas, con diferencias entre ellas en el número de plantas. El número de plantas por metro cuadrado fue

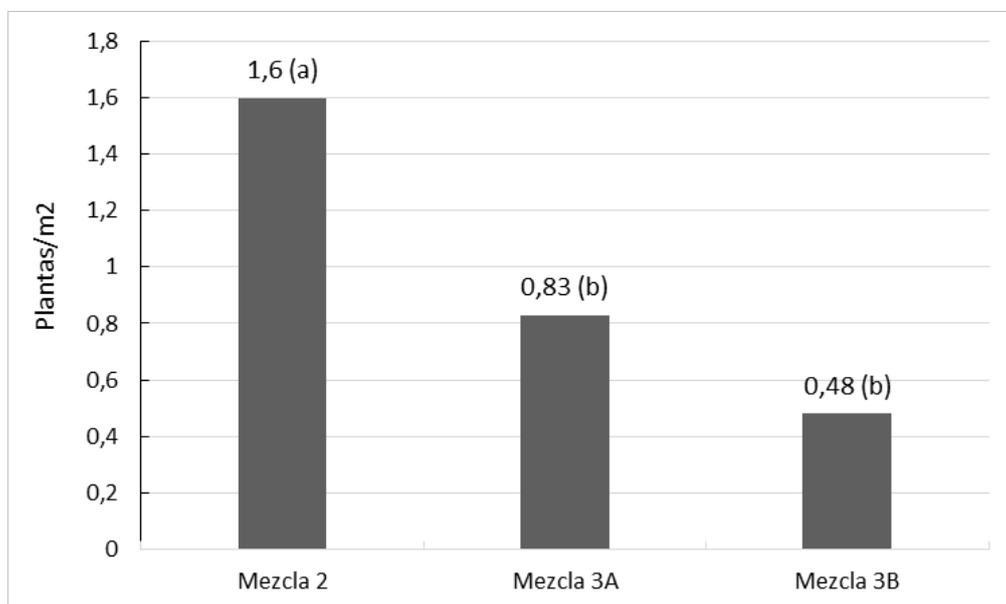
significativamente superior en la mezcla 2 respecto a las mezclas 3A y 3B, sin diferenciarse entre ellas.

Figueredo (2022) indica que *Paspalum notatum* en su segundo año alcanza a cubrir el 80% del suelo, duplicando el número de plantas por metro cuadrado y las mismas triplican su altura y cuadriplican el área cubierta por planta, en relación con el año anterior. En este trabajo se logró demostrar que al tercer año se estabiliza la pastura manteniendo constante el número de plantas por unidad de superficie.

Según Pallarés et al. (2005) su ciclo de producción comienza en primavera tardía, se desarrolla durante el verano y culmina en otoño frente a la presencia de heladas, ocurriendo en primavera-verano la mayor producción de forraje. Este comportamiento diferencial al resto de las especies de la mezcla podría explicar los resultados obtenidos.

### Figura No. 18

*Plantas de Paspalum por metro cuadrado de suelo*



*Nota.* Densidades poblacionales con una letra en común promedio de los meses de diciembre y febrero, no son estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Teniendo en cuenta los componentes de la mezcla 2, siendo la componente leguminosa de ciclo invernal (Trébol blanco) con escasa presencia en verano (ver anexo E) y la componente gramínea perenne invernal con bajo crecimiento estival (Festuca), permiten que *Paspalum* pueda competir por esos espacios sin activo crecimiento mediante el aumento de nuevas plantas.

Para las mezclas 3A y 3B, si bien se puede observar un mayor número de plantas en la primera, esta superioridad no fue significativa. Esto se puede explicar porque *Festuca* cesa su crecimiento en verano y *Lotus* no lo hace, interaccionando con *Paspalum* y provocando una posible disminución en el número de plantas nuevas de esta especie. Según Giorello (2020), en nuestra región, las gramíneas con metabolismo C4 son las principales candidatas a la colonización de estos espacios ya que durante el verano las altas temperaturas y la escasez de agua les brindan importantes ventajas frente a las gramíneas C3. Esta competencia puede perjudicar notablemente el

desempeño de la comunidad. En la misma línea, una distribución homogénea de las etapas productivas de las especies sembradas puede potenciar dichos rendimientos.

Es importante destacar que, en gran parte del periodo en estudio, el IBH se encontraba entre 0,2 – 0,5 que, si bien repercute en todas las especies, *Paspalum* por estar en su estación de crecimiento sufriría más los efectos negativos teniendo como resultado una menor cantidad de plantas lo que conduce a una menor colonización.

Los datos obtenidos llevan a inferir que los componentes de la mezcla 2 permiten que *Paspalum* prospere en las condiciones climáticas que acontecieron, ya que favorecen el mayor crecimiento de *Paspalum* en primavera y en el comienzo del verano. Aunque, productivamente, no se puede afirmar que sea la mejor mezcla debido a que dicha ventaja puede derivar en una disminución de productividad por pérdida de las otras especies.

A la hora de comparar la convivencia del *Paspalum* con las dos gramíneas invernales que se estudiaron, no se notó una mejoría de *Paspalum* con *Festuca*, ya que, si bien García (1996) indica que la *Festuca* al entrar antes en reposo permite mejores condiciones de crecimiento a la gramínea estival, esto no se pudo comprobar.

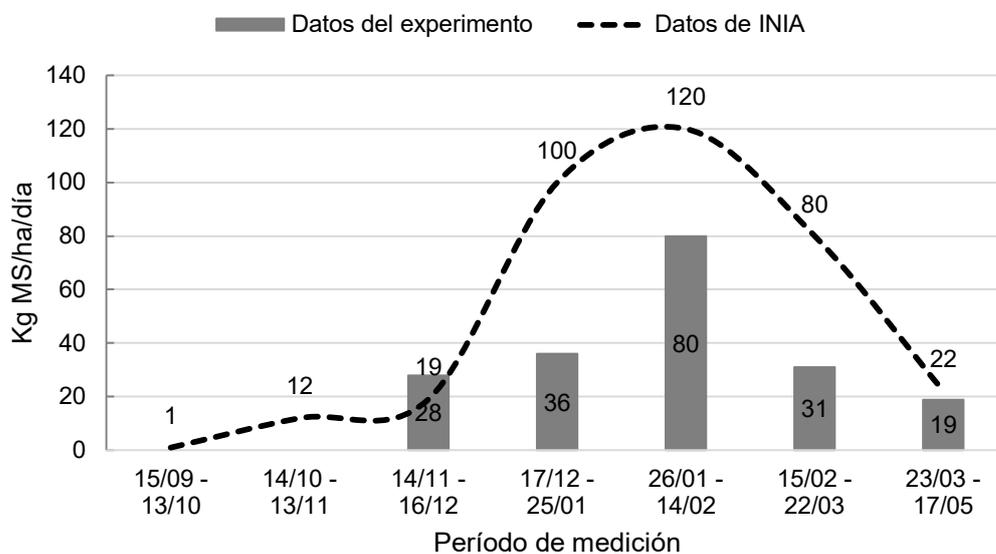
#### 4.4 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE *PASPALUM NOTATUM* EN SIEMBRA PURA

##### 4.4.1 Tasa de crecimiento

Como se puede observar la tasa de crecimiento de *Paspalum* va aumentando a medida que se adentra en el verano, estas tasas son en un periodo donde la disponibilidad hídrica fue muy baja. Se observó un pico de producción en el periodo del 26/01/2023 - 14/02/2023, como producto de un evento de precipitación, que generó un valor de IBH de 1 en la tercera década de enero. Luego la disminución del crecimiento acompaña el ciclo de producción de la especie, la cual va entrando en un periodo de reposo, ya que las temperaturas (ver figura 5) y las horas de radiación son menores.

**Figura No. 19**

Tasa de crecimiento de *Paspalum notatum*, expresada en kg MS/ha/día, en su tercer verano



Nota. Datos de INIA extraídos de Fariña et al. (2021).

Las tasas de crecimiento se comportan con una tendencia similar a las reportadas por INIA (Fariña et al., 2021), donde el pico de producción se registró en el mismo periodo. Este fue de 120 kg MS/ha/día siendo el obtenido en este estudio menor (80,3 kg/ha/día) ya que ocurren períodos frecuentes con IBH menores a 0,5.

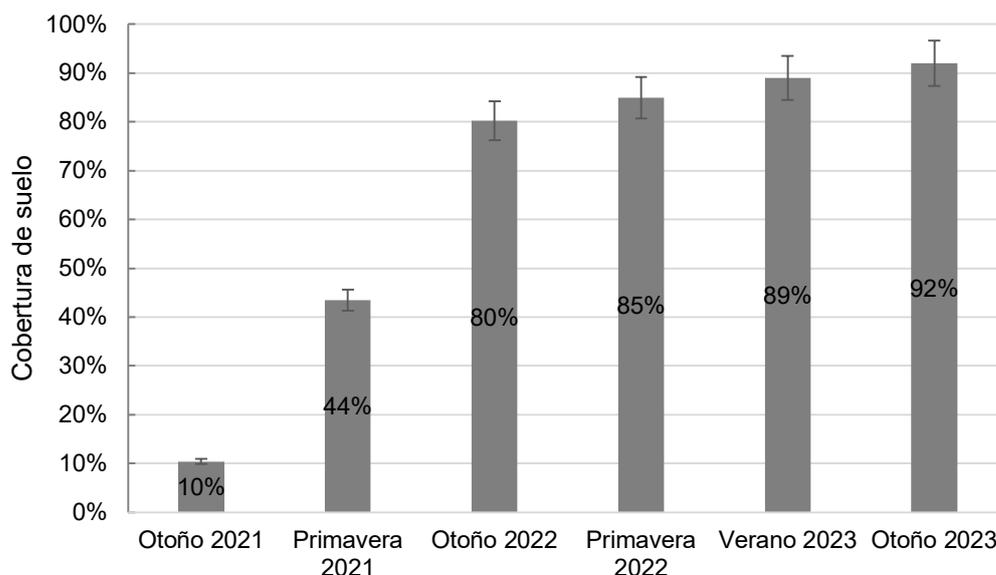
También se observó que no se registra crecimiento vegetativo llegando al invierno ya que con las primeras heladas *Paspalum* disminuye su forraje verde. En el periodo de estudio la primera helada se registró el 12 de junio del 2023 (INIA, 2023), debido a esto, en el periodo de mediados de marzo a mediados de mayo continúa su crecimiento con una tasa de 18,8 kg MS/ha/día.

#### 4.4.2 Evolución de la cobertura del suelo

Al culminar su tercer verano pos-siembra *Paspalum notatum* alcanzó una cobertura del suelo del 92 %. Este valor, en comparación a la primavera del año anterior, permite inferir que la pastura muestra una tendencia a la estabilidad, ya que los incrementos en porcentaje de cobertura desde su segundo año son cada vez más decrecientes en cada estación (5 %, 4 % y 3 % respectivamente).

#### Figura No. 20

*Evolución de la cobertura de suelo de Paspalum notatum*



*Nota.* Elaborado en base a Figueredo (2022) y datos colectados en este trabajo en primavera de 2022, verano y otoño 2023.

Esta pastura presenta una lenta implantación, aunque luego de su estabilización estructural logra cubrir el suelo casi en su totalidad. Esta velocidad de crecimiento y colonización se las atribuye a características morfofisiológicas como su hábito de crecimiento y formación de rizomas (Reyno, 2015).

Giorello (2020) expresa que esta especie tiene un lento desarrollo inicial, donde se esperarí que las parcelas de siembras puras tengan un enmalezamiento temprano, y a su vez, un uso limitado por muy baja producción.

Figueredo (2022) encontró que el porcentaje de cobertura pasa de 10,4 % a 80,2 % en un año de crecimiento, desde seis a dieciocho meses pos-siembra. Además, registró que el porcentaje de malezas disminuye en un 15,1 %, pasando de 26,8 % en el primer año a 11,6 % en las mediciones realizadas al año siguiente.

Coincidiendo con Speranza (2017) *Paspalum notatum* alcanza entre su segundo y tercer año valores de cobertura del 80 %, obteniendo un máximo de superficie cubierta en su tercer año post siembra.

#### 4.4.3 Evolución de dos variables de estructura de la pastura

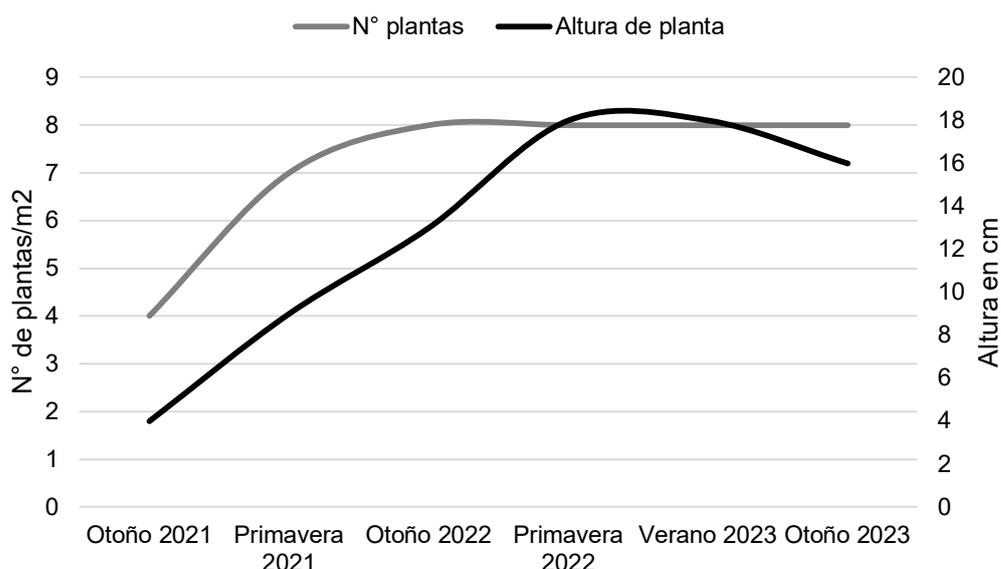
La estabilidad de la especie en siembra pura que se mencionó en el punto anterior es explicada en parte por la estructura de la pastura que se alcanza al tercer

año pos-siembra, determinada en parte por el número de plantas por unidad de superficie y la altura promedio de cada una de ellas.

Como se observa en la figura 21, a partir del segundo año la pastura logra una población de 8 plantas/m<sup>2</sup> la cual no varía en su desarrollo posterior. A su vez la altura de planta promedio varía entre estaciones debido al ciclo de producción de la especie y su respuesta al régimen de defoliación sometida, pero en promedio luego de instalada la pastura el crecimiento ronda entre 13 a 18 cm de altura.

**Figura No. 21**

*Evolución de dos variables estructurales de Paspalum notatum*



*Nota.* Elaborado en base a Figueredo (2022) y datos recolectados en este trabajo en la primavera de 2022 y verano y otoño del 2023.

#### 4.5 RELACIÓN ENTRE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE APOORTE DE LOS COMPONENTES FORRAJEROS

En este estudio se emplearon dos métodos para estimar la contribución porcentual de cada componente en la mezcla forrajera: uno basado en la estimación visual de la cobertura del suelo y otro basado en el cálculo del peso de cada componente sobre el total de la mezcla.

El análisis de varianza, realizado con un nivel de significancia de 0,05, reveló diferencias significativas entre los métodos de medición. El modelo estadístico empleado (ver Anexo D) explica aproximadamente el 66,3 % de la variabilidad de los datos, lo que sugiere un ajuste razonable. El coeficiente de variación (CV) de 62 % indica una alta dispersión de los datos con respecto a la media, lo que implica que, aunque los métodos difieren significativamente, la variabilidad en las mediciones es considerable. Además, se halló suficiente evidencia para concluir que tanto la especie como el momento de medición afectan significativamente el porcentaje de aporte de biomasa. También se observó una interacción significativa entre el momento de medición y el método de estimación, lo cual refuerza la importancia de ambos factores en la precisión de la estimación.

En consecuencia, no sería confiable utilizar solo uno de los métodos para medir la contribución de componentes en mezclas forrajeras.

Las diferencias marcadas entre los resultados pueden deberse a falta de precisión en alguno de los métodos empleados o a sesgos de sobrestimación o subestimación (Fernández, 2004). Los métodos de estimación visual, por su naturaleza, no son cuantitativos (Tucker, 1980) y sus resultados pueden variar según la percepción y experiencia del observador, mientras que los métodos directos (medición del aporte en peso) ofrecen datos concretos de biomasa acumulada.

Además, el aporte de cada componente varía según los estratos de la estructura de la pastura, y ambos métodos capturan esta información de manera distinta. Los métodos indirectos suelen centrarse en el estrato superior, mientras que los métodos directos recogen datos de todos los niveles de la pastura. Esto es relevante en mezclas de especies con diferentes hábitos de crecimiento y ciclos productivos (Carámbula, 2002-2004), lo que puede influir en las estimaciones y en la representación de los distintos componentes de la mezcla forrajera.

## 5. CONCLUSIONES

Dactylis y Festuca no mostraron diferencias en lo que respecta a la mortandad de macollos durante el verano. Estas especies tampoco expresaron diferencias en su participación en las mezclas en términos de cobertura de suelo y contribución en peso. A su vez, en el nivel de enmalezamiento, tampoco se obtuvo evidencias que muestren un diferencial comportamiento. Sí se pudo registrar un crecimiento inicial de *Paspalum* mayor en la mezcla con Festuca que en la mezcla con Dactylis.

*Paspalum* mostró un comportamiento favorable en cuanto a su performance productiva en combinación con Festuca y Trébol blanco, donde la leguminosa, al tener baja participación en el tercer verano, generó espacios libres que *Paspalum* pudo colonizar. En cambio, la participación de *Paspalum* en las mezclas con Festuca y Dactylis junto con Lotus no evidenció diferencias.

En siembra pura y en su tercer año, *Paspalum notatum*, no logra cubrir en su totalidad el suelo, aunque alcanza una densidad estable, a través del número de plantas por unidad de superficie. Esto sugiere que en etapas de desarrollo posteriores podría alcanzar una cobertura completa, no mediante el aumento de la densidad poblacional, sino a través de un incremento en el tamaño de las plantas.

Finalmente, los métodos empleados para estimar el aporte de los componentes forrajeros en las mezclas mostraron diferencias significativas entre sí. Además, se obtuvo suficiente evidencia para concluir que la especie y el momento de medición influyen significativamente en la estimación de esta variable.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos del Uruguay*. MAP.
- Arrospide, C., & Ceroni, C. (1980). *Estudio sobre el rejuvenecimiento de praderas sembradas* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Ayala, W., Bemhaja, M., Cotro, B., Docanto, J., García, J., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, R., Rossi, C., & Silva, J. (2010). *Forrajeras: Catálogo de cultivares*. INIA.
- Ayala, W., Larratea, F., Herken, G., Olano, I., & Ruete, R. (2017). *Rol de la Festuca en los sistemas ganaderos del este del país: b. Estudios sobre persistencia*. INIA.
- Baars, J. A., & Dyson, C. B. (1981). Pasture production and sward dynamics under sheep grazing. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 41, 101-11.
- Barnes, R., Miller, D., & Nelson, C. (1995). *Forages: An introduction to grassland agriculture* (5<sup>th</sup> ed.). Iowa State University.
- Bertín, O., & Rosso, B. (1988). *Distribución estacional del rendimiento de forraje de gramíneas perennes templadas*. INTA.
- Bonifacio, M., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. BOLFOR.
- Cangiano, C. A. (1996). *Métodos de medición de fitomasa aérea*. En C.A. Cangiano (Ed.), *Producción animal en pastoreo* (pp.117-128). INTA.
- Carámbula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2002-2004). *Pasturas y forrajes: Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M., & Terra, J. A. (2000). *Las sequías: Antes, durante y después*. INIA.
- Castro, R., Hernández-Garay, A., Vaquera, H., Hernández, P., Quero, C., Enríquez, Q., & Martínez, H. (2012). *Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo*. *Revista Fitotecnia*, 35(1), 87-95.
- Cayley, J. W. D., & Bird, P. R. (1996). *Techniques for measuring pastures*. Institute Hamilton.
- Chapman, D., Edwards, G., & Nie, Z. (2011). Plant responses to climate and relationships with pasture persistence. *NZGA: Research and Practice Series*, 15, 99-107. <https://doi.org/10.33584/rps.15.2011.3207>
- Cian, M., Fraguío, M., Herrera, D., & Mistrorigo, D. (2003). Implantación de *Paspalum dilatatum* en el norte de Entre Ríos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23(3-4), 147-153.
- Cochran, W. (1977). *Técnicas de muestreo* (3<sup>ra</sup> ed.). John Wiley & Sons.

- Costa Ricagno, N. (2015). *Efecto de la incorporación de dos gramíneas perennes estivales en mezclas forrajeras convencionales* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Cross, J. W., Bonos, S. A., Huang, B., & Meyer, W. (2013). Evaluation of heat and drought as components of summer stress on tall fescue genotypes. *Hortscience*, 48(12), 1562-1567.
- Cruz, G., & Baethgen, W. (2014). Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 126-132.
- Dabkevičienė, G., Kemešytė, V., Lemežienė, N., & Butkutė, B. (2013). *Production of slender cocksfoot (Dactylis polygama H.) tetraploid populations and their assessment for agromorphological characteristics*. Zemdirbyste-Agriculture.
- Daghero, M., & Fripp, S. (2021). *Supervivencia estival de macollos de Festuca arundinacea bajo diferentes frecuencias de cortes en primavera* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Díaz Lago, J., García, J., & Rebuffo, M. (1996). *Crecimiento de leguminosas en la Estanzuela*. INIA.
- Dirección de Suelos. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo III, parte I*. MAP.
- Fariña, S., Latanzzi, F., Pla, M., & Bentacour, L. (2021). Se inicia la red de pastoreo para trabajar con productores en aumentar su cosecha de pasto. *Revista INIA*, (66), 25-28.
- Fernández, C. (1979). Estimaciones de densidad aparente, retención de agua a tensiones de -1/3 y -15 bar y agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica. En Facultad de Agronomía (Ed.), *Reunión Técnica No. 2* (p. s2). Universidad de la República.
- Fernández, H. H. (2004). *Estimación de la disponibilidad de pasto*. INTA.
- Figueredo, S. (2022). *Evaluación de mezclas forrajeras sobre suelo de basalto en la zona norte del país* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Flores, S. (2018). Dinámica poblacional de plantas y tallos de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) solo y asociado con pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Acta Universitaria*, 28(1), 30-37.
- Formoso, F. (1993). *Lotus corniculatus: Performance forrajera y características agronómicas asociadas*. INIA.
- Formoso, F. (1996). *Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas*. INIA.
- Formoso, F. (2010a). *Festuca arundinacea: Manejo para producción de forraje y semillas*. INIA.
- Formoso, F. (2010b). *Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales*. INIA.
- Formoso, F. (2011). *Manejo de mezclas forrajeras y leguminosas puras: Producción y calidad del forraje: Efectos del estrés ambiental e interferencia de gramilla*. INIA.

- Ganguli, A. C., Vermeire, L. T., Mitchell, R. B., & Wallace, M. C. (2000). Comparison of four non-destructive techniques for estimating standing crop in shortgrass plains. *Agronomy Journal*, 92(6), 1211-1215.
- García, J. (1980). *Manejo estival de Festuca arundinacea*. IPA.
- García, J. (1995) *Variedades de trébol blanco*. INIA.
- García, J. (1996). *Dactylis INIA Oberón: Una nueva opción forrajera para el tambo*. INIA.
- García, J. (2003). *Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela*. INIA.
- Giorello, D. (2020). *Respuestas morfofisiológicas y agronómicas de Paspalum notatum cv. INIA Sepé a regímenes de defoliación* [Disertación de doctorado]. Universidad de San Pablo.
- Giorello, D., Do Canto, J., Porcile, V., De Barieri, I., Soares de Lima, J., Montossi, F., Rossi, C., Maranges, F., & Reyno, R. (2021). *Paspalum notatum INIA SEPÉ: Una gramínea nativa de alta productividad y persistencia*. INIA.
- González, P., & Astigarraga, L. (2012). Productividad de vacas lecheras en pasturas de Festuca o de Dactylis. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(1), 160-165.
- Hagopián, A. C., & Moreni, A. (2015). *Evaluación de la inclusión de gramíneas estivales perennes en praderas permanentes sobre la producción y composición de la leche de vacas Holando en verano* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Haydock, K., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670.
- Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Harlow.
- Hoen, K. (1968). The effect of plant size and developmental stage on summer survival of some perennial grasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 8(31), 190-196.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2023). *Banco de datos agroclimático*.  
<http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Semillas & Instituto Nacional de Investigación Agraria. (2011). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras: Anuales, bianuales y perennes: Período 2010*.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11026/1/Eval-Cult-Forrajeras-2010.pdf>
- Instituto Nacional de Semillas & Instituto Nacional de Investigación Agraria. (2014). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras: Anuales, bianuales y perennes: Período 2014*.  
[http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_EF/Ano2014/PubForraje\\_rasPeriodo2014.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2014/PubForraje_rasPeriodo2014.pdf)

- Jáuregui, J. M., Lattanzi, F., & Berone, G. D. (2020). Canopy temperature in tall fescue (*Lolium arundinaceum* Schreb.) pastures: An indicator of drought stress. *Revista Argentina de Producción Animal*, 39(S1), 143.
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Agnusdei, M. G., Baudracco, J., Sevilla, G. H., Chilbroste, P., & Lattanzi, F. A. (2017). Persistence of tall fescue in a subtropical environment: Tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. *Grass and Forage Science*, 72(3), 454-466.
- Langer, R. (1981). *Las pasturas y sus plantas*. Hemisferio Sur.
- Lattanzi, F., Jáuregui, J., Michelini, D. F., Chilbroste, P., Reyno, R., & Weiszmann, M. (2022). *Persistencia productiva de pasturas largas en veranos con escenario Niña*. INIA.
- Lehman, C. L., & Tilman, D. (2000). Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities. *The American Naturalist*, 156(5), 534-552.
- López, A., Moreni, A., Hagopián, A., Speranza, P., Astigarraga, L., & Picaso, V. (2015). *Productividad y accesibilidad de forraje en mezcla forrajera con gramíneas perennes estivales para sistemas lecheros*. PAIE-CSIC.  
<https://www.estudiantes.csic.edu.uy/2015/09/02/fagro-productividad-y-accesibilidad-de-forraje-en-mezcla-forrajera-con-gramineas-perennes-estivales-para-sistemas-lecheros/>
- López, J. E., & González, A. (2012). Measuring grass yield by nondestructive methods: A review. En A. Kirilov, N. Todorov, & I. Katerov (Eds.), *Optimal forage systems for animal production and the environment: Proceedings of the 12th symposium of the European grassland federation* (Vol. 8, pp. 569-572). BAGFP.
- McIntyre, G. A. (1978). Statistical aspects of vegetation sampling. En L. Mannerje (Ed.), *Measurement of grassland vegetation and animal production* (p. 52). CAB.
- Michellini, D. (2016). *Persistencia de Festuca (Festuca arundinaceae schreb.): Dinámica poblacional estival en pasturas con diferente desarrollo reproductivo* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Millot, J. C. (1969). *Mejoramiento de gramíneas forrajeras*. INIA.
- Muslera, E., & Ratera, C. (1991). *Praderas y forrajes: Producción y aprovechamiento*. Mundi-Prensa.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP.
- Olaizola, F., Soares de Lima, S., & Velicho, A. (2015). *Efecto de la fertilización fosfatada en la productividad de segundo año de un mejoramiento en cobertura de Trifolium repens* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Olson, L. (2006). The economics of terrestrial invasive species: A review of the literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, 35(1), 178-194.
- Ong, C., Marshall, C., & Saoar, G. (1978). The physiology of tiller death in grasses: 2. Causes of tiller death in a grass sward. *Grass and Forage Science*, 33(3), 205-211.

- Pallarés, O. R., Berretta, E. J., & Maraschin, G. E. (2005). The South American campos ecosystem. En J. M. Suttie, S. G. Reynolds, & C. Batello (Eds.), *Grasslands of the World* (pp. 171-219). FAO.
- Panetta, F. D., & Wardle, D. A. (1992). Gap size and regeneration in a New Zealand dairy pasture. *Austral Ecology*, 17(2), 169-175.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., & Morrison, D. (2000). Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 50(1), 53-65.
- Pinto, J., & Rodríguez, N. (1989). Avalacao de plantas y progenies de *Lotus corniculatus* L.E e *Lotus uliginosus*. *Anuario Técnico do Instituto de Pesquisas Zootécnicas*, 14, 114-197.
- Pizzaro, E. (2002). Potencial forrajero del género *Paspalum*. *Pasturas Tropicales*, 22(1), 38-46.
- Programa Nacional Pasturas y Forrajes. (2019). *Cuatro pasos para asegurar la persistencia productiva de Festuca y Dactylis*. INIA.
- Rechcigl, J. E., Mislevy, P., & Alava, A. (1993). Influence of limestone and phosphogypsum on bahiagrass growth and development. *Soil Science Society of American Journal*, 57(1), 96-102.
- Reyno, R. (2015). *Subtropicales: Paspalum notatum TB42*. INIA.
- Ríos, A. (2001). Control de gramilla en sistemas de siembra directa. *Revista del Plan Agropecuario*, (99), 232-237.
- Rojas, G., Hernández-Garay, A., Ayala, W., Mendoza, P., Joaquín, S., Vaquera, H., & Santiago, H. (2016). Comportamiento productivo con praderas con distintas combinaciones de ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(2), 57-68.
- Sanderson, M., Rotz, C. A., Fultz, S. W., & Rayburn, E. B. (2001). Estimating forage mass with a commercial Capacitance Meter, Rising Platometer and Pasture Ruler. *Agronomy Journal*, 93(6), 1281-1286.
- Sanderson, M., Skinner, R., & Barker, D. (2004). Plant species diversity and management of temperate forage and grazing land ecosystems. *Crop Science*, 44(4), 1132-1144.
- Santañique, F., & Carámbula, M. (1981). Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. *Investigaciones Agronómicas*, 2(1), 16-21.
- Scheneiter, J. O. (2005). *Manejo de pasturas de Festuca alta*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/40-manejo\\_festuca.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/40-manejo_festuca.pdf)
- Scheneiter, J. O., Camarasa, J. N., Aperlo, D., Ferrari, M. A., & Nalino, M. (2019). Post-grazing cutting management in tall fescue affects the sward structure, forage and liveweight production. *Grass and Forage Science*, 74(4), 661-669.
- Skerman, P., & Riveros, F. (1992). *Gramíneas tropicales*. FAO.

- Speranza, P. (2017). *Utilización y domesticación de gramíneas forrajeras del género Paspalum en Uruguay*. INIA.
- Tilman, D., Reich, P. B., & Knops, J. M. H. (2006). Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 441(7093), 629-632.
- Tozer, K. N., Bourdôt, G. W., & Edwards, G. R. (2011). What factors lead to poor pasture persistence and weed ingress? Pasture persistence. *NZGA: Research and Practice Series*, 15, 129-138.
- Trejo, M. (2020). Pasturas base Festuca: Qué puedo hacer para no perder macollos y comprometer la persistencia. *Agrofy News*.  
<https://news.agrofy.com.ar/noticia/190919/pasturas-base-festuca-que-puedo-hacer-no-perder-macollos-y-comprometer-persistencia>
- Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sensing of Environment*, 10(1), 23-32
- Wallau, M., Vendramini, J., Dubeux, J., & Blount, A. (2019). *Bahiagrass (Paspalum notatum Flueggé): Overview and pasture management*. University of Florida.
- Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 1463-1468
- Zarza, R., & Formoso, D. (2018). *Recuperación de áreas degradadas con Paspalum dilatatum 'Estanzuela Chirú' y Paspalum notatum 'Pensacola'*. INIA.

## 7. ANEXOS

### Anexo A.

*Perfil de suelo característico de un suelo Brunosol de la unidad de suelos Itapebí - Tres Árboles*

Horizonte	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	MO (%)
A1	0 - 19	13,1	46,3	40,6	6,9
B21t	19 - 51	7,4	27,4	65,2	3,1
B22t	51 - 78	7,1	28,4	64,5	1,7
Cca	78 - 92	1,08	28,1	61,1	1,0

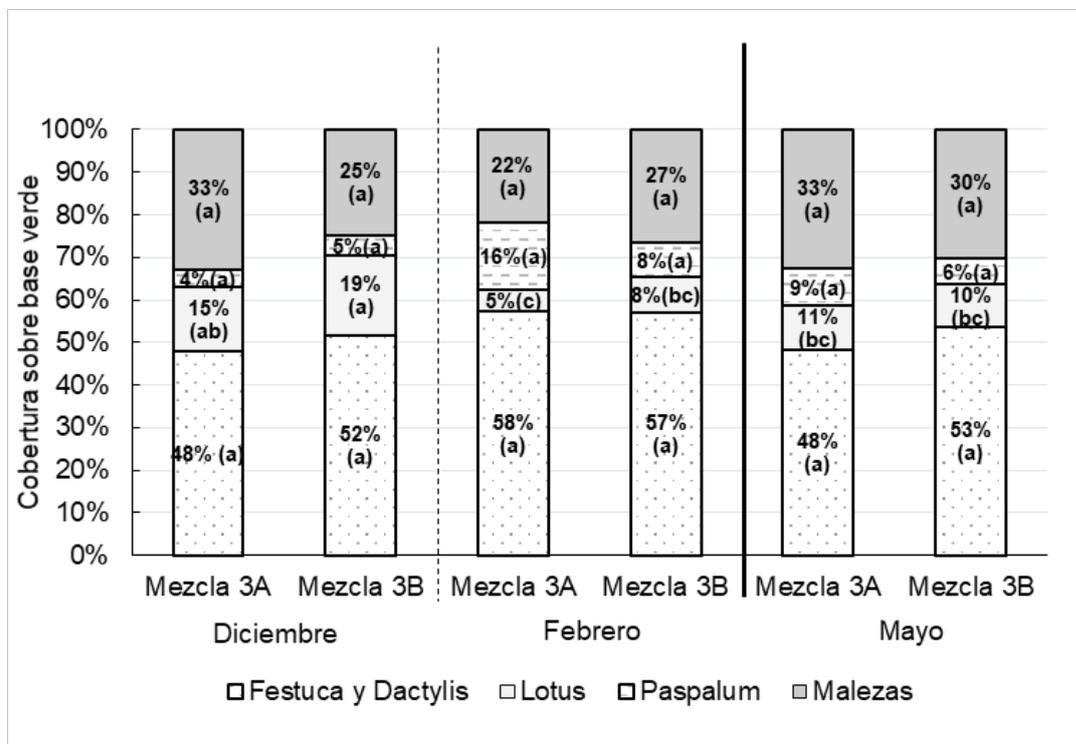
*Nota.* Tomado de la Dirección de Suelos (1976).

### Referencia bibliográfica

Dirección de Suelos. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo III, parte I.* MAP.

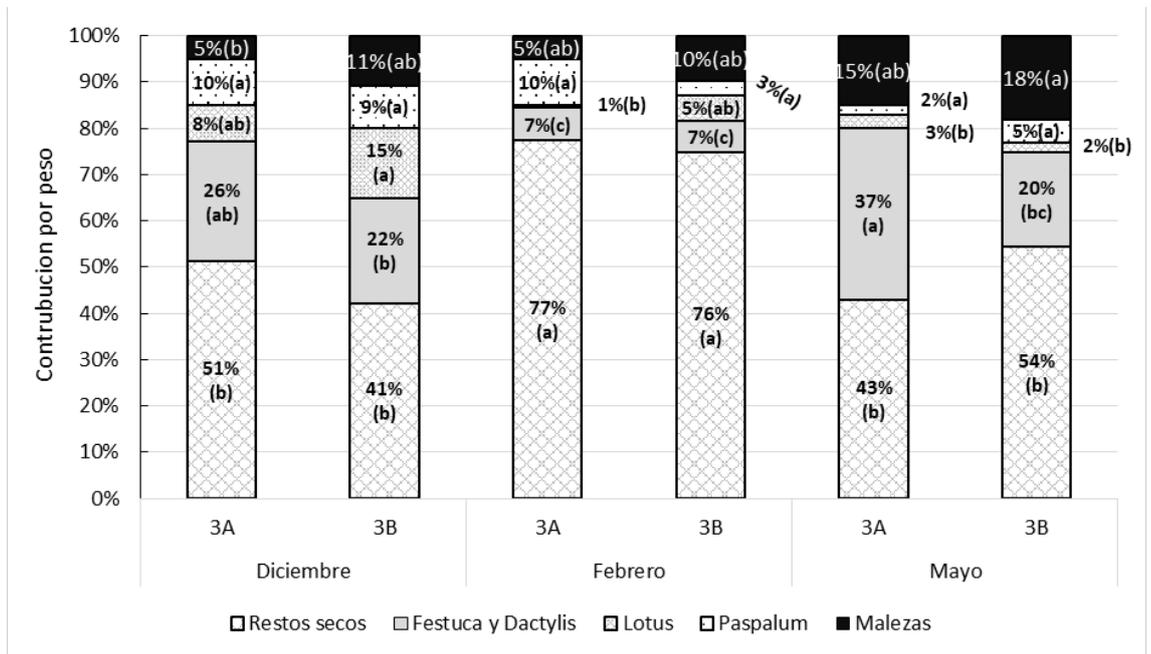
## Anexo B

Cobertura por componente de las mezclas para los meses de diciembre, febrero y mayo



### Anexo C

Aporte por peso de los componentes de las mezclas para los meses de diciembre, febrero y mayo



## Anexo D.

### Análisis de ANOVA con suma de cuadrados Tipo III

#### Values

CV	62.9376198256074
desviacion_estandar	0.131168338956939
media_ajustada	0.20841007225947
na_count	0L
r_squared	0.66326395006487
residuos	Named num [1:528] 0.0618 0.2331 -0.0203 -0.0143 0.0356 ...

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	0.00062500	1	0.03308664	8.557401e-01
Metodo	0.27035088	1	14.31200125	1.744407e-04
Variedad	2.33415000	3	41.18889029	1.061994e-23
Bloque	0.04541667	2	1.20214774	3.014512e-01
Momento	0.37195312	1	19.69068371	1.130306e-05
Metodo:Variedad	1.00272520	3	17.69429482	6.567621e-11
Metodo:Bloque	0.01711373	2	0.45298857	6.359969e-01
Variedad:Bloque	0.34232500	6	3.02036863	6.585755e-03
Metodo:Momento	0.28477817	1	15.07576220	1.177462e-04
Variedad:Momento	0.73604375	3	12.98837918	3.601167e-08
Bloque:Momento	0.24473958	2	6.47808743	1.674566e-03
Metodo:Variedad:Bloque	0.08760322	6	0.77293216	5.914668e-01
Metodo:Variedad:Momento	0.40255738	3	7.10361026	1.118705e-04
Metodo:Bloque:Momento	0.04764922	2	1.26124177	2.842392e-01
Variedad:Bloque:Momento	1.29687083	6	11.44242454	5.634637e-12
Metodo:Variedad:Bloque:Momento	0.48625729	6	4.29029804	3.163333e-04
Residuals	9.06710517	480	NA	NA

**Anexo E.**

*Cobertura de suelo de la componente leguminosa durante el verano en mezcla 2 y mezcla 3A*

