

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA DE LA GRAMÍNEA ESTIVAL  
*ERAGROSTIS TEFF* A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO Y SU  
RELACIÓN CON EL AMBIENTE HÍDRICO**

**por**

**Franco Antonio BARBERIA RODRIGUEZ  
Joaquín RESTAINO MARZIOTTE**

**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/a:

---

Ing. Agr. MSc. Félix Gutiérrez

Tribunal:

---

Ing. Agr. MSc. Felipe Casalás

---

Ing. Agr. PhD. Fernando Lattanzi

Fecha: 01 de agosto de 2024

Estudiante:

---

Franco Barbería Rodríguez

---

Joaquín Restaino Marziotte

## AGRADECMIENTOS

Deseamos agradecer muy especialmente a los tutores de este trabajo, los Ingenieros Agrónomos Félix Gutiérrez (Mejoramiento de Pasturas y Forrajes de INIA La Estanzuela), Felipe Casalás (Dpto. Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía-UDELAR) y Fernando Lattanzi (Pasturas y Forrajes INIA La Estanzuela), por la oportunidad de llevar adelante este trabajo y por la orientación técnica para concretar el estudio.

A la empresa Valle Verde (Serkan), importadores y representantes de Teff Nile en Uruguay, por la provisión de la semilla con la cuál fue posible el trabajo y por la oportunidad de generar una nueva referencia técnica en la especie.

De igual manera, al personal de la Sección Pasturas y Forrajes de INIA La Estanzuela, que apoyaron con calidez y eficiencia todo el trabajo de campo.

Finalmente, a nuestras familias y amigos por ser un apoyo incondicional a lo largo de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PÁGINA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>8</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Objetivo General.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE <i>Eragrostis teff</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 FOTOSÍNTESIS Y METABOLISMO FOTOSINTÉTICO C4 .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE VERDEOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y AMBIENTES HÍDRICOS CONTRASTANTES .....</b>	<b>16</b>
<b>3.5 FERTILIZACIÓN NITROGENADA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.6 RELACIÓN NITRÓGENO CRÍTICO EN PLANTA Y BIOMASA. 18</b>	<b>18</b>
<b>3.7 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA. 20</b>	<b>20</b>
<b>3.8 RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA .....</b>	<b>20</b>
<b>4 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 PROCEDIMIENTO A CAMPO.....</b>	<b>23</b>
4.2.1 Manejo del Riego .....	23
4.2.2 Manejo del Nitrógeno .....	24
<b>4.3 DETERMINACIONES REALIZADAS .....</b>	<b>25</b>
4.3.1 Humedad del suelo .....	25
4.3.2 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado .....	26
4.3.3 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) .....	26

4.3.4 Materia Seca y Composición Botánica .....	26
4.3.5 SPAD y Nitrógeno en la Parte superior del Canopeo .....	27
<b>5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>6 RESPUESTA DE LAS VARIABLES ANALIZADAS A LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1 KILOGRAMOS DE MATERIA SECA POR UNIDAD DE SUPERFICIE .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2 ÍNDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA. ....</b>	<b>35</b>
<b>6.3 RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA. ....</b>	<b>38</b>
<b>6.4 COMPOSICIÓN BOTÁNICA (HOJA/TALLO). ....</b>	<b>41</b>
<b>6.5 CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA (SPAD). ....</b>	<b>43</b>
<b>7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>8 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>49</b>
<b>9 ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

### Tablas

Tabla 1. Calendario de precipitaciones y riegos.....	24
Tabla 2. Composición botánica según tratamientos en riego .....	42
Tabla 3. Composición botánica según tratamientos en seco.....	42

### Figuras

Figura 1. Absorción de N y disminución de este con el aumento de biomasa ....	19
Figura 2. Ubicación del experimento dentro del departamento de Colonia.....	21
Figura 3. Ubicación campo experimental INIA La Estanzuela .....	22
Figura 4. Croquis diseño experimental.....	23
Figura 5. Línea de tiempo para determinaciones realizadas .....	25
Figura 6. Precipitaciones ejercicio 2021-2022 y registros históricos, INIA La Estanzuela.....	28
Figura 7. Temperatura promedio mensual 2021-2022 y registros históricos, INIA La Estanzuela.....	29
Figura 8. Humedad del suelo para ensayo bajo riego en el periodo evaluado....	30
Figura 9. Humedad del suelo para ensayo en seco en el periodo evaluado... 30	
Figura 10. Balance hídrico ejercicio 2021-2022, INIA La Estanzuela .....	31
Figura 11. Rendimiento en riego y seco según dosis de nitrógeno .....	33
Figura 12. Kg de MS/ha según dosis de nitrógeno bajo riego .....	34
Figura 13. Kg de MS/ha según dosis de nitrógeno en seco .....	34
Figura 14. Comportamiento NDVI bajo riego durante periodo evaluado.....	36
Figura 15. Comportamiento NDVI en seco durante periodo evaluado.....	36
Figura 16. Regresión NDVI por tratamientos bajo riego .....	37
Figura 17. Regresión NDVI por tratamientos en seco .....	37
Figura 18. PAR interceptada en función de tiempo bajo riego.....	38
Figura 19. PAR interceptada en función del tiempo en seco.....	39
Figura 20. PAR interceptada en función de tratamientos bajo riego.....	40
Figura 21. PAR interceptada en función de tratamientos en seco .....	40
Figura 22. Composición botánica a lo largo del ciclo .....	42
Figura 23. Comportamiento SPAD durante el periodo evaluado bajo riego.....	44
Figura 24. Comportamiento SPAD durante el periodo evaluado en seco.....	44
Figura 25. Regresión SPAD por tratamientos bajo riego.....	45
Figura 26. Regresión SPAD por tratamientos en seco .....	45

## RESUMEN

El Uruguay cuenta con una superficie total de pastoreo de 14,3 millones de hectáreas, de las cuales el 80,9% corresponden a campo natural y el 19,1% a verdeos y praderas (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, 2021). Los verdeos son cultivos forrajeros anuales que constituyen elementos fundamentales en la producción de materia seca del sistema; brindan una alta producción de forraje de calidad en cortos periodos de tiempo y cumplen exitosamente la misión de reforzar la entrega de forraje en las épocas críticas de invierno y verano, cuando las especies perennes disminuyen su productividad (Carámbula, 2002). *Eragrostis teff*, es una gramínea anual estival de tipo C4, de escasa difusión en la región y no existen trabajos nacionales sobre la especie. Por consiguiente, este trabajo propone estudiar la performance de *Eragrostis teff* en producción de biomasa, así como también de variables botánicas y su desempeño general en diferentes situaciones hídricas (riego y secano), y su relación diferentes dosis de nitrógeno. En resumen, en base a los datos recabados se puede decir que, en esta investigación, *Eragrostis teff* tuvo un buen desempeño tanto en riego como en secano, factor que no afectó la performance de la especie en atributos como producción de biomasa, variables botánicas y su relación con diferentes dosis de nitrógeno. A su vez, se concluyó que *teff*, con dosis de 300 Kg N/ha logra una producción de biomasa tal que logra niveles de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, donde se maximiza la producción de materia seca, con una proporción de hojas y tallos estable a lo largo del ciclo y valores estables de NDVI acordes a un forraje sano y denso.

*Palabras Clave:* Teff, nitrógeno, performance, ambiente

## SUMMARY

Uruguay has a total grazing area of 14.3 million hectares, with 80.9% corresponding to natural grasslands and 19.1% to annual forage crops and pastures (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, 2021). Annual forage crops are fundamental elements in the dry matter production system; they provide high-quality forage production in short periods of time and successfully reinforce forage delivery during critical winter and summer periods when perennial species decrease their productivity (Carámbula, 2002). *Eragrostis teff* is a summer annual C4 grass species with limited diffusion in the region, and there are no national studies on the species. Therefore, this study proposes to investigate the performance of *Eragrostis teff* in biomass production, as well as botanical variables and its overall performance under different water conditions (irrigation and rainfed), and its relationship with different nitrogen doses. In summary, based on the collected data, it can be stated that, in this research, *Eragrostis teff* performed well both under irrigation and rainfed conditions, a factor that did not affect the species' performance in attributes such as biomass production, botanical variables, and its relationship with different nitrogen doses. Furthermore, it was concluded that *teff*, with a dose of 300 kg N/ha, achieves biomass production levels that intercept photosynthetically active radiation, maximizing dry matter production, with a stable leaf-to-stem ratio throughout the cycle and consistent NDVI values indicative of healthy and dense forage.

*Keywords:* Teff, nitrogen, performance, environment



## 1 INTRODUCCIÓN

El Uruguay cuenta con una superficie total de pastoreo de 14,3 millones de hectáreas, en la cual el 80,9% corresponden a campo natural y el 19,1% a verdeos y praderas, valor último que se ha incrementado en un 16% desde el 2012 al 2021 (Oficina de Estadísticas Agropecuarias, 2021).

El campo natural es un componente prioritario en los sistemas productivos ganaderos y ganaderos agrícolas del país. Ha sido un factor fundamental en la sostenibilidad de dichos sistemas y ha conformado la base de las ventajas comparativas como país exportador de productos animales (Risso et al., 2005). Carámbula (1987) menciona que las pasturas naturales están principalmente compuestas por gramíneas de dos grandes grupos, las invernales (C3) y las estivales (C4), presentando una predominancia de especies estivales lo que lleva a tener una mayor producción primavero-estivo-otoñal, y a su vez una menor calidad de forraje por menor digestibilidad de las plantas C4 y especies ordinarias, dos grandes limitantes del campo natural, entre otras.

Existen tecnologías productivas que ofrecen diferentes alternativas para aumentar y uniformar la producción mediante una mejor distribución estacional, entre estas; la implementación de pasturas sembradas y cultivos forrajeros anuales (Carámbula, 1987).

Los verdeos son cultivos forrajeros anuales que constituyen elementos fundamentales en la producción de materia seca del sistema; brindan una alta producción de forraje de calidad en cortos periodos de tiempo y cumplen un rol importante en la sustentabilidad de los sistemas y se complementan con el rol de las praderas sembradas (Carámbula, 2002). Además, cumplen exitosamente la misión de reforzar la entrega de forraje en las épocas críticas de invierno y verano, cuando las especies perennes disminuyen su productividad; sin embargo, para que estos cultivos sean realmente rentables deben ofrecer rendimientos elevados de materia seca de gran calidad en momentos en que las pasturas cultivadas son incapaces de cubrir los requerimientos animales además de lograr una alta utilización del forraje producido con categorías animales eficientes (Carámbula, 2002).

*Eragrostis teff*, es una gramínea anual estival de tipo C4, de origen tropical proveniente de zonas áridas, la cual se comporta muy bien bajo diferentes niveles de estrés. En Etiopía, identificado tradicionalmente como país de origen, el cultivo cobra gran importancia como cereal para grano, sembrándose 3 millones de hectáreas anualmente, representando un 30% del área cultivable aproximadamente. Este cultivo representa una quinta parte de la producción bruta de cereales del país por encima de los cultivos maíz y sorgo, entre otros (Chanyalew et al., 2019). En lo que respecta a su uso en otros países (Australia, Canadá, Sudáfrica, Estados Unidos) este es de mayor importancia como cultivo para forrajes (Habte et al., 2019).

Este verdeo estival es de escasa difusión en la región y no existen trabajos nacionales sobre la especie. En base a lo expuesto, este trabajo propone estudiar su performance en producción de biomasa, así como también de variables botánicas y su desempeño general en diferentes situaciones hídricas (riego y seco), y su relación diferentes dosis de nitrógeno.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Estudiar la adaptación y productividad de *Eragrostis teff* en situaciones hídricas contrastantes y su relación con diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

### 2.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la correlación entre la concentración de clorofila del tope del canopeo con la fertilización nitrogenada.
- Determinar la respuesta de Teff Nile al nitrógeno en diferentes situaciones hídricas.
- Determinar la producción de biomasa aérea en diferentes ambientes hídricos, su relación con las diferentes dosis de nitrógeno y cómo evoluciona la relación lamina/vaina durante el desarrollo del cultivo.

### 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE *Eragrostis teff*

Es un cereal anual de la familia *Poaceae*, clasificado como C4, su harina no forma gluten y tiene alto contenido de lisina (Umaña et al., 2012).

A pesar de su importancia como cultivo para grano en diversos países, características tales como, producción de forraje primavera-estival, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno y calidad han sido propulsoras en su uso como forrajera (Laureano, 2021).

Teff ha demostrado ser un cultivo de rápido crecimiento capaz de tener altos rendimientos de calidad en un corto periodo de tiempo (Miller, 2011). A su vez Hunter et al. (2007) mencionan que investigaciones realizadas en cuanto a la calidad de Teff, han demostrado que el mismo tiene valores nutricionales comparables a verdeos invernales y que se caracteriza por una alta relación lámina/vaina.

En función al alto potencial de la especie para pastoreo es que hace aproximadamente diez años se decide mejorar genéticamente en características forrajeras como calidad, sanidad, tasa de rebrote y resistencia al pastoreo; es así como el cultivar Teff Nile, utilizado en este experimento, se diferencia de variedades antiguas por presentar plantas con buena producción de macollos, hojas más anchas, alta relación hoja/tallo, un ciclo vegetativo extendido y una mayor productividad de materia seca. Dicho cultivar ha presentado rendimientos de 8-12 t MS/ha en años normales y de 7-9 t MS/ha y 14-16 t MS/ha en veranos secos y lluviosos respectivamente; por otra parte, es una gramínea que se adapta a un amplio rango de suelos, con bajos requerimientos nutricionales y alta eficiencia en el uso de agua. Adicionalmente, deja un rastrojo de buena calidad, fácilmente degradable, que permite realizar un buen manejo del barbecho y posterior siembra de una pradera (Valle Verde, s.f.).

En cuanto al manejo, Miller (2011) asegura que el cultivo no es capaz de establecerse con temperaturas del suelo menores a 18°C y que su manejo a la siembra debería ser similar al sorgo híbrido. Respecto a esto Teff debe ser sembrado en primavera-verano, previendo la ocurrencia de heladas tardías ya que este no las tolera; se debe preparar una fina y firme cama de siembra y se debe tener en cuenta que profundidades mayores a cuarta pulgada (6,35 mm) afectan la germinación (Roseberg et al., 2018).

Los mejores resultados de siembra se han verificado con sembradoras del tipo Brillion (maquinaria poco común en Uruguay) sin embargo siembras convencionales con maquinarias que tengan cajón para semilla fina y siembras al voleo también son viables; las recomendaciones de densidades de siembra oscilan entre los 5 a 7 kg/ha para siembras en línea y 10 a 14 kg/ha para siembras al voleo (Miller, 2011).

Se recomiendan fertilizaciones a la siembra de 40 a 60 kg de N/ha, preferentemente fraccionada, dependiendo si son suelos pesados o livianos respectivamente, y 26 Kg/ha de  $P_2O_5$  (Ketema, 1997)

Por otro lado, Valle Verde (s.f.) recomienda fertilizaciones a la siembra de 100 kg de fertilizante binario formulado principalmente por nitrógeno y fósforo. Además, se recomiendan refertilizaciones de nitrógeno de 50 kg/ha post pastoreo.

### 3.2 FOTOSÍNTESIS Y METABOLISMO FOTOSINTÉTICO C4

La fotosíntesis es un proceso por el cual las plantas transforman la materia inorgánica de su medio externo a materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo. Básicamente se producen azúcares (energía) a partir del  $CO_2$  del aire, minerales, agua y luz solar siendo el factor de mayor incidencia sobre este proceso la concentración de  $CO_2$ . Cabe destacar que las plantas de metabolismo C4 tienen mecanismos especializados (de mayor costo energético) para la concentración y transporte de  $CO_2$  a los sitios de fijación (Labarthe & Pelta, 2009).

Estos mecanismos especializados implican que estas plantas sean capaces de fijar  $CO_2$  en presencia de  $O_2$  (Oxígeno); el oxígeno inhibe a la RubisCo la cual es la enzima catalizadora de la asimilación y fijación de  $CO_2$ . Cuando la concentración de  $CO_2$  es baja, la RubisCo cambia su función y en lugar de fijar  $CO_2$ , oxida glúcidos hasta  $CO_2$  y  $H_2O$ , proceso que se conoce como fotorrespiración. Dicho proceso, fotorrespiración, se ve disminuido en plantas de metabolismo C4 por la acción de una enzima adicional, la PEP Carboxilasa, la cual no es inhibida por la concentración de  $O_2$ , dándose una separación espacial entre la fijación primaria de la PEP Carboxilasa y la RubisCo (Medina et al., 1976).

Las plantas C4 son particularmente efectivas para captar dióxido de carbono ( $CO_2$ ) cuando las concentraciones de este gas son bajas. Esto suele ocurrir en condiciones de alta temperatura y luz intensa, ya que la concentración de  $CO_2$  disminuye debido a que es menos soluble que el oxígeno (Harold Brown, 1999).

Además, diversos autores Long (1999) y Harold Brown (1999) han afirmado que plantas con metabolismo C4 suelen tener una mayor eficiencia en el uso de N para la fotosíntesis en comparación con plantas con metabolismo C3.

La mayor productividad de estas plantas C4 en referencia a N, agua y luz capturada se debe fundamentalmente a la forma en la cual almacenan dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en el sitio donde se encuentra la RubisCo. Estas diferencias entre plantas C3 y C4 tiene efecto en cómo estas responden a su entorno. En tal sentido, en ambientes donde los nutrientes y el agua son limitantes, estas plantas de metabolismo C4, son eficientes en el uso del agua y nitrógeno (Long, 1999).

Por otro lado, plantas C4 tienen una menor digestibilidad que las C3, esto se debe a las diferencias que tienen sus metabolismo para fijar  $CO_2$ , lo que lleva a que las plantas C4 tengan mayor cantidad de componentes estructurales, y en consecuencia a una diferencia en calidad entre las plantas tropicales y templadas (Van Soest, 2014).

*Eragrostis Teff*, presenta mejores valores de calidad de forraje con respecto a otros verdeos de verano, presentando contenidos entre 12 a 17% de proteína cruda, dependiendo del grado de madurez y valores de fibra detergente neutra (FDN) de 52 a 65% (Miller, 2011).

### 3.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE VERDEOS

Los verdeos son cultivos anuales fundamentales en la producción de materia seca de los sistemas ganaderos y ganaderos-agrícolas del país. Brindan una alta producción de forraje de calidad en cortos periodos de tiempo (Carámbula, 2002).

En lo que respecta a la estación estival, en muchas regiones del país, la baja cantidad y calidad de los recursos forrajeros constituye un problema para dicha estación, sobre todo en aquellas zonas que por clima y/o suelo no puede ser utilizada la alfalfa (*Medicago sativa*), es así como los cultivos anuales de ciclo estival constituyen un aporte importante de forraje de sistemas ganaderos y lecheros del país (Muzi et al., 2013).

Los cultivos utilizados como verdeos estivales de mayor difusión a nivel país son el Sorgo forrajero (*Sorghum sp.*), Sudangrass (*Sorghum sudanense*), Moha (*Setaria italica*) y Maíz (*Zea mays*) los cuales pueden ser utilizados de forma directa por los animales o para reservas como silo o fardos (Perrachón, 2010).

A modo general, los verdeos estivales tienen una alta producción en un corto periodo de tiempo, es así que estos en general, dependiendo de la especie y variedad sembrada es posible tener un primer aprovechamiento de 5 a 7 toneladas de materia seca por hectárea en un plazo de 60 a 80 días pudiendo alcanzar una producción potencial de 10 a 20 toneladas distribuidas en dos o tres pastoreos en el periodo de tiempo que va de diciembre a marzo (Murray et al., 2010).

Las producciones de materia seca de algunos verdeos estivales de mayor difusión como Sorgo forrajero, Sudangrass y Moha presentan producciones de 11000, 10000 y 6000 kg MS/ha respectivamente. En cuanto a Teff, en Wisconsin y California, la producción promedio evaluada en cuatro años osciló entre 10000 y 17000 kg MS/ha (Miller, 2011). Por otra parte, el rendimiento de materia seca de este cultivo evaluado en la provincia de Buenos Aires fue de 7500 kg MS/ha promedio (López et al., 2022). Por último como fue mencionad anteriormente, Valle Verde (s.f.) reporta producciones de 8000 a 12000 kg MS/ha en veranos de condiciones normales.

Algunas consideraciones al momento de la siembra de verdeos estivales son; época de siembra y fertilización. En cuanto a la época de siembra, es importante lograr una temperatura adecuada para que la semilla germine, la cual es dependiente del cultivo, siendo de 12 ° C para maíz y entre 18 y 20 ° C para sorgo forrajero, Sudangrass, Moha y teff. Por otra parte, es importante tener en cuenta la demanda de nutrientes del cultivo y la oferta de nutrientes del suelo para

suministrar adecuados niveles de fósforo y nitrógeno a la siembra (Perrachón, 2011).

Con respecto a la siembra e implantación de los verdeos de verano, a modo general, es importante tener en cuenta, además de la época de siembra y fertilización, factores tales como tratamiento previo de la semilla ya sea con fungicida y/o insecticida (curado), densidad y profundidad de siembra, control de malezas y distribución de plantas. La distribución de plantas en maíz es importante ya que este no tiene capacidad de macollaje y es sembrado con sembradoras de precisión que permiten una siembra más homogéneamente distribuida, en cambio, el resto de los verdeos no requieren siembras de precisión por su capacidad de macollaje y generalmente son sembrados con sembradoras de chorrillo (Perrachón, 2011). El control de malezas es importante y con mayor énfasis en verdeos de verano ya que el agua es un recurso limitante en esta estación y se debe evitar la competencia de las malezas por recursos limitantes como el agua, así como también por nutrientes (Perrachón, 2010).

*Eragrostis Teff* es una especie con una semilla de tamaño pequeño con un peso de mil semillas de 1,7 gramos aproximadamente (Miller, 2011). Por este motivo la siembra de este cultivo puede ser compleja. Estudios realizados en diferentes partes del mundo han demostrado que la siembra en línea tiene mayores rendimientos que la siembra al voleo (Arefaine et al., 2020; Mihretie et al., 2021).

Los mayores rendimientos de materia seca se dieron con siembras en línea y con densidades de siembra de 10 kg/ha, mientras que siembras al voleo con densidades de 20 kg/ha obtuvieron los menores rendimientos (Arefaine et al., 2020).

En cuanto a la calidad de los verdeos de verano Privitello (2000) como se cita en Murray et al. (2010) el cual menciona que el valor nutritivo depende del momento de utilización. En estadios previos al reproductivo, momento donde se combina una alta producción y un valor nutritivo aceptable, el nivel de proteína es de 10 a 12 por ciento y el de FDN es de 60 a 70 por ciento. A medida que avanza el estado de madurez, el valor nutritivo de la planta cae considerablemente.

Teff presenta valores de FDA sensiblemente inferiores a otras especies estivales (sorgo y mijo) comparados en el mismo estado fenológico. Diversos autores mencionan similares valores de componentes nutricionales para teff. Según Miller (2011), presenta 9 a 14 % de proteína cruda, 32 a 38% de FDA y 53 a 65% de FDN. Por otro lado Habte et al. (2019) reporta valores de 13% de proteína cruda, 40% de FDA y 60% FDN.

Haciendo referencia a la respuesta animal sobre verdeos de verano, una síntesis de trabajos realizados en Uruguay, muestran ganancias medias diarias no tan altas, pero permiten cargas altas, de 4 a 7 animales/ha, generando elevadas producciones por hectárea (kg de PV/ha). En dichos trabajos el promedio de producción de kg de PV/ha fue de 350 con ganancias promedio de 750 gramos/día y una utilización de forraje de 50% (Clariget et al., 2015).

Cabe destacar que los verdes de verano son relativamente más caros en lo que respecta al forraje producido y que su manejo es más complejo debido a este gran volumen producido en un corto periodo de tiempo (Perrachón, 2011).

### 3.4 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y AMBIENTES HÍDRICOS

#### CONTRASTANTES

Nuestro país presenta un clima húmedo de gran variabilidad interanual, donde las precipitaciones medias anuales son de 1250 mm con variaciones de 1100 mm y 1600 al sur y al norte del Rio Negro respectivamente. La temperatura media de la estación estival (diciembre, enero y febrero) es de 23 ° C y 11,8 ° C en la estación invernal (junio, julio y agosto). La temperatura máxima media registrada en enero alcanza valores de 30-32 ° C en el norte y litoral oeste y 27-28 ° C en el sur, en tanto que la mínima media es de 7-8 ° C en todo el país (Durán & Garcia Préchac, 2007).

Otra variable de importancia agronómica fundamental para el balance de agua del suelo es la Evapotranspiración (ET) debiendo distinguir la evapotranspiración potencial (ETP) y real (ETR). La ETP presenta valores medios anuales acumulados de 1000 a 1200 mm con los menores valores al sureste y máximos al noroeste del país, presentando un gradiente incremental de sureste a noroeste. La evapotranspiración potencial presenta un comportamiento estacional de baja variación interanual presentando valores máximos en los meses de verano con valores de 160 a 185 mm/mes, seguido de la primavera con 95 a 105 mm/mes, otoño con 65 a 80 mm/mes y por último el invierno con valores entre 25 a 35 mm/mes (Castaño et al., 2011).

Tomando en cuenta la caracterización climática del país y mayor demanda atmosférica que hay en verano; las probabilidades de tener veranos secos aumentan significativamente (Olmos López, 2004). Una forma de contabilizar esta demanda atmosférica es a partir de la evapotranspiración potencial o de referencia, variable que se introdujo para el estudio de la demanda de evapotranspiración (mm de agua perdidos en forma de vapor) de la atmósfera independientemente del tipo y desarrollo del cultivo y de las prácticas de manejo (Allen et al., 2006). La ETP se caracteriza por presentar un comportamiento estacional con un máximo en verano y un mínimo en invierno, pero con una variación entre años muy baja (Carámbula, 1993).

Si bien podemos ver que tanto las precipitaciones como la evapotranspiración potencial presentan una baja variación interanual, el fenómeno llamado ENSO es una fuente de variación climática interanual. Este fenómeno puede tener tres eventos "El Niño" en años calientes, "La Niña" en años fríos o "Neutro" cuando no se registran variaciones significativas. Estudios realizados en la región pampeana (Argentina), concluyen que los desvíos de los rendimientos en general positivos durante los eventos "El Niño" y negativos en "La Niña"; esto se asocia a que en eventos "El Niño" se dan anomalías positivas de las precipitaciones (Brescia et al., 1998).



Al analizar la caracterización climática del país, como fue mencionado anteriormente las precipitaciones medias anuales rondan los 1250 mm (Durán & García Préchac, 2007), así como la demanda atmosférica producto de la alta demanda atmosférica en la estación estival, las posibilidades de tener un déficit hídrico aumentan significativamente. A su vez, Olmos López (2004) menciona que esta alta probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico en la estación estival puede afectar negativamente a la productividad del sistema con reducciones en la producción de biomasa tanto en pasturas naturales como en sembradas. Estas deficiencias pueden ser periodos cortos de tiempo (7 a 10 días) las cuales, en coincidencia con determinados momentos del ciclo de desarrollo del cultivo, pueden afectar de manera significativa la producción. Es así, que, al emplear una estrategia de riego teniendo en cuenta las variables del clima, suelo y planta; aumentan las probabilidades de tener una respuesta vegetal al agregado de agua (García, 2010).

Una alternativa tecnológica para estabilizar y/o mantener la producción estival es la inclusión de riego en pasturas y forrajes mediante riegos estratégicos (Giorello et al., 2012). A su vez estos mencionan que, en sorgo, la producción del forraje bajo riego fue mayor a la del forraje en secano, aún en un año donde las precipitaciones estuvieron por encima del promedio.

Estudios realizados sobre la respuesta al riego en gramínea anual C4, como sorgo forrajero, arrojaron resultados significativos ante la inclusión de riego. La humedad del suelo y la cantidad de agua fueron determinantes en la producción de materia seca. Los resultados fueron, con baja humedad de 3470 kg MS/ha y 7141 kg MS/ha para las condiciones de baja y alta cantidad de lluvia respectivamente y en el caso de alta humedad en el suelo, de 6582 kg MS/ha y 9081 kg MS/ha para las condiciones de baja y alta cantidad de agua (Giorello et al., 2012). Otro factor para tener en cuenta es el monitoreo de las necesidades hídricas durante el desarrollo del cultivo, ya que la cantidad y el momento del riego, son determinantes en la producción. Los resultados obtenidos en estas evaluaciones demostraron una respuesta a la aplicación de riego, ya sea en verdes de verano, gramíneas perennes o campo natural (Giorello et al., 2012).

*Eragrostis teff* es una especie la cual se adapta bien a situaciones de estrés tales como ambientes hídricamente deficientes. Ketema (1997) afirma que este cultivo tiene buenos resultado en ambientes con precipitaciones anuales de 750 a 850 mm y unos 450 a 550 mm en el periodo de crecimiento, aunque también obtiene buenos resultados con 300 mm.

### 3.5 FERTILIZACIÓN NITROGENADA

La producción de forrajes está influenciada por diversos factores bióticos, abióticos y de manejo, afectando negativa y/o positivamente su performance. Así lo define Carámbula (1993), afirmando que la producción de forraje consiste fundamentalmente en la conversión de energía solar, del CO<sub>2</sub> (anhídrido carbónico), los nutrientes y el agua del suelo en materiales energéticos y proteicos, donde el factor básico es la energía solar pero su utilización puede ser limitada por temperaturas desfavorables, sequías, y carencias de nutrientes, en especial

nitrógeno. Cabe destacar que el manejo es un factor importante para lograr buenos resultados, tanto es así que decisiones como cultivar, fertilización, maquinaria, laboreos, entre otras labores contribuyen en forma definitoria al éxito o al fracaso de la implantación y en consecuencia a la persistencia productiva de una pradera (Carámbula, 2003).

Un factor manejable y predecible en su respuesta es la fertilización nitrogenada en gramíneas anuales invernales. Numerosos autores han reportado una correlación positiva y en general han determinado que la respuesta es casi lineal en dosis de hasta 350 kg/ha de nitrógeno (N) y que, si bien por cada incremento en la dosis de N se produce un aumento en la producción de materia seca, el mismo es porcentualmente menor a medida que la dosis se eleva (Carámbula, 2002).

El nitrógeno debido a ser un constituyente esencial de las proteínas y varias sustancias de crecimiento de las plantas se comporta como un estimulante global de crecimiento (Formoso & Allegri, 1980).

A su vez, el nitrógeno ejerce el mayor control en la producción de forraje y cultivos del mundo. Se destaca que en el caso de las pasturas de alta producción, tales como las gramíneas, son dependientes de la fijación biológica de nitrógeno por parte de leguminosas y/o de la fertilización nitrogenada, debido a que la concentración mineral que ofrece el suelo es generalmente baja (Bemhaja, 1994).

Con relación al manejo nutricional de *Eragrostis Teff*, un trabajo realizado por varias Universidades en Estados Unidos; concluyó que, hay respuesta a la fertilización nitrogenada en los periodos siembra y luego del primer y/o segundo corte o pastoreo, con dosis de 20 a 30 kilogramos de N por hectárea, lo que equivale a 40 a 60 kilogramos de urea. Además, mencionan que aquellos suelos deficientes en Nitrógeno a la siembra presentaron una mayor respuesta (Roseberg et al., 2018)

### 3.6 RELACIÓN NITRÓGENO CRÍTICO EN PLANTA Y BIOMASA

Greenwood et al. (1990), como se cita en Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar (2007), mencionan que el nitrógeno crítico se define como el mínimo contenido de nitrógeno necesario para alcanzar la máxima tasa de crecimiento de la planta.

A su vez, el contenido de N y la producción de materia seca son variables utilizadas en la evaluación de pastos, sin embargo, estas se correlacionan negativamente; la concentración de N crítico se define como la concentración mínima de N que permite su máximo crecimiento.

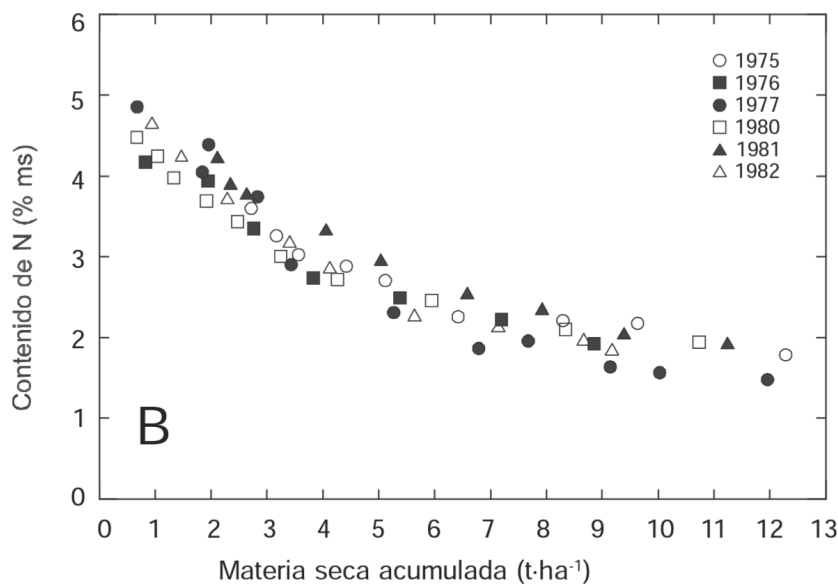
Si se toma en cuenta el incremento en edad de las pasturas de tipo C4, resulta que el contenido de proteína se reduce al aumentar la producción de materia seca dándose una dilución de la proteína del forraje. Dicha dilución de la proteína es representada por un modelo matemático ( $N = \alpha PMS - \beta$ ), Donde N es el contenido de nitrógeno en la planta expresado en porcentaje de la materia seca (% MS),  $\alpha$  es la concentración crítica de N (% MS), PMS es la producción de materia seca (t

$\text{ha}^{-1}$ ) y  $\beta$  es el coeficiente de dilución del N y se define como la disminución en el contenido de N en planta por cada unidad de materia seca acumulada (Juárez-Hernández & Bolaños-Aguilar, 2007).

Cárdenas-Navarro et al. (2004) mencionan que, a partir de distintas relaciones de dilución de nitrógeno, observadas a varias concentraciones de N, se estableció la curva de contenido crítico, dicha relación se ve representada en la figura 1.

### Figura 1

*Absorción de N y disminución de este con el aumento de biomasa*



*Nota.* Adaptado de Cárdenas-Navarro et al. (2004).

Gastal y Lemaire (2002) definen el índice de nutrición de nitrógeno (NNI) como "la relación entre la concentración de nitrógeno actual en la biomasa aérea y una concentración crítica de nitrógeno (NCR)" (p. 790). La NCR representa la concentración mínima de nitrógeno requerida para mantener tasas de crecimiento máximas.

Tradicionalmente, determinar el NNI involucra cuantificaciones laboriosas de la biomasa aérea y la concentración de nitrógeno, lo que lo hace menos adecuado para el diagnóstico rutinario de la nutrición de nitrógeno en pastizales (Errecart et al., 2012)

Además, la concentración de nitrógeno en las hojas está fuertemente asociada con las lecturas de un dispositivo portátil, el Minolta SPAD 502, que mide el verdor de las hojas. El uso de este dispositivo, que proporciona lecturas instantáneas del verdor de las hojas, podría ser una opción útil para estimar directamente el NUSL (concentración de nitrógeno en las hojas superiores del pasto) e indirectamente el NNI, dado la alta asociación entre estas variables (Errecart et al., 2012).

### 3.7 ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA.

El Índice Diferencial de Vegetación Normalizado, más conocido por sus siglas NDVI, es estimado a partir de imágenes satelitales a partir de las cuales se determina el estado actual de la vegetación en base a la relación de reflectancia de la vegetación medida por el sensor del satélite en dos zonas del espectro radiométrico, la del rojo e infrarrojo (Castaño et al., 2007). En la vegetación, la banda roja se ve influenciada por la cantidad de clorofilas, mientras que, el infrarrojo por el contenido de agua (Olivares & López-Beltrán, 2019). Este índice oscila entre -1 y 1, permite identificar la presencia de vegetación verde sobre la superficie y caracterizar su distribución espacial y su estado a lo largo del tiempo. Los mayores valores de NDVI se dan con vegetaciones densas, húmedas y bien desarrolladas, con buena actividad fotosintética mientras que, los menores valores se dan con vegetaciones ralas o suelos descubiertos, así como valores negativos para el agua (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2024b)

### 3.8 RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA

Durán Bautista et al. (2015) definen a la PAR siglas por la cual se identifica la Radiación Fotosintéticamente Activa, como la fracción del espectro solar que está comprendida entre 400 y 700 nanómetros, la cual es absorbida por las plantas, almacenada y transformada a través de sus sistemas fotosintéticos. Estos valores de PAR son importantes para la evaluación temporal, para el seguimiento y crecimiento de cultivos, esto se debe a que la radiación fotosintéticamente activa es utilizada por los cultivos como energía para realizar la fotosíntesis y conocer la distribución temporal y espacial cumple un rol importante en el análisis de los procesos biológicos asociados (Escobedo et al., 2020).

#### 4 MATERIALES Y MÉTODOS

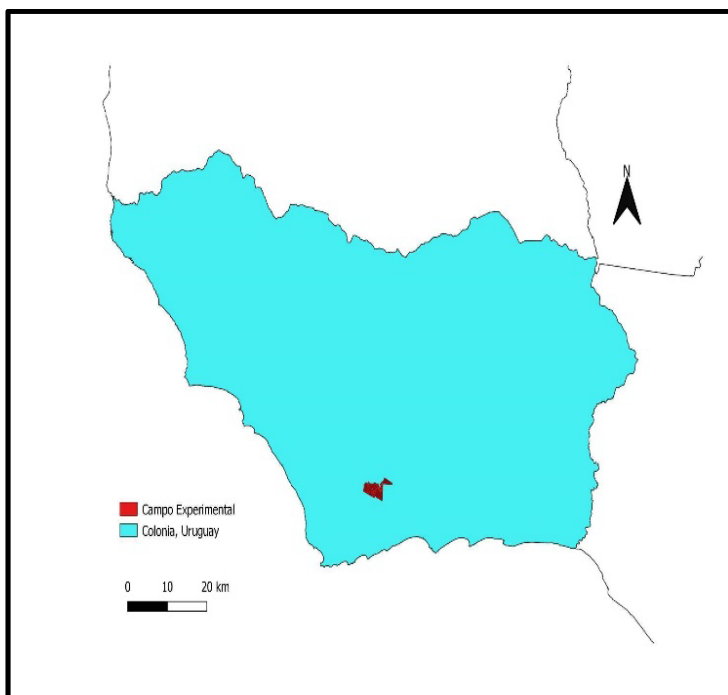
El experimento fue realizado en el departamento de Colonia, en INIA La Estanzuela, Estación Experimental Dr. Alberto Boerger (Ruta 50, kilómetro 11). Dicha estación se encuentra a 26 kilómetros de Colonia del Sacramento y a 15 kilómetros de la ciudad de Tarariras. La investigación comenzó en diciembre 2021 y culminó en marzo 2022.

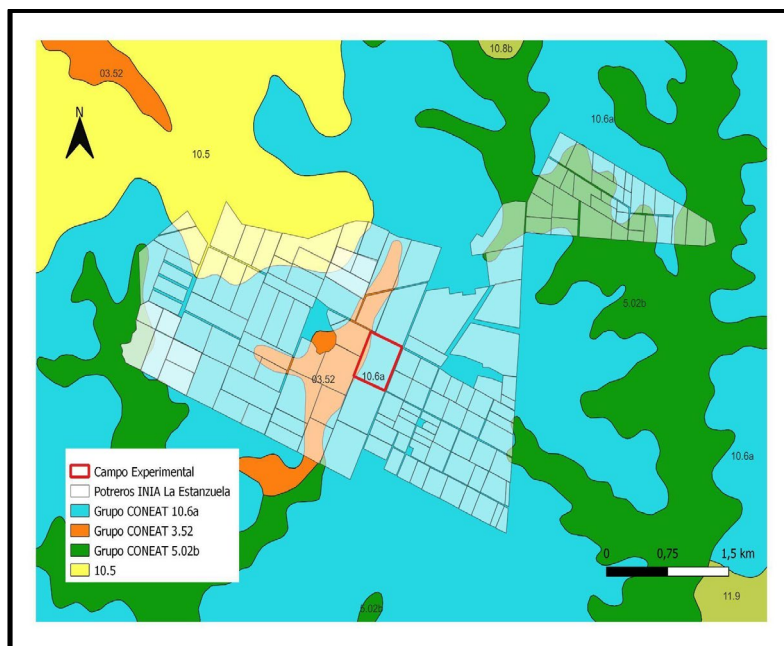
El campo experimental está ubicado sobre la unidad Ecilda Paullier, Las Brujas. La figura 3 muestra los Grupos CONEAT presentes en dicho campo, donde predomina el grupo 10.6a abarcando aproximadamente el 70% del área. El material geológico de este grupo corresponde a sedimentos arcillosos de color pardo a pardo naranja.

El relieve es suavemente ondulado, con pendientes bajas a medias y los suelos predominantes son Brunosoles Subeutricos, a veces Eutricos, Típicos y Lúvicos de color pardo a pardo oscuro con textura franco-limosa de fertilidad alta y moderadamente bien drenados.

#### Figura 2

*Ubicación del experimento dentro del departamento de Colonia*



**Figura 3***Ubicación campo experimental INIA La Estanzuela*

El cultivo fue sembrado el 6 de diciembre de la 2021 a razón de 15 kg/ha con una distancia entre hileras de 0,19 m y una fertilización a la siembra de 200 kg/ha de Superconcentrado Nitrogenado (7-40/40-0), 80 kg/ha de KCl y 50 kg/ha de urea azufrada (40-0/0-0-5).

El cultivar utilizado fue NILE, el mismo fue sembrado sobre un rastrojo de trigo y se realizó un barbecho químico donde 20 días previo a la siembra se aplicaron 3 l/ha de Glifosato, un herbicida de amplio espectro y sistémico, 1.2 l/ha de Preside (Flumetsulam), herbicida selectivo para el control de malezas de hoja ancha y 400 cm<sup>3</sup>/ha de Venceweed (2,4-DB), post emergente de acción sistémica para malezas de hoja ancha y selectivo para leguminosas forrajeras como alfalfa y trébol.

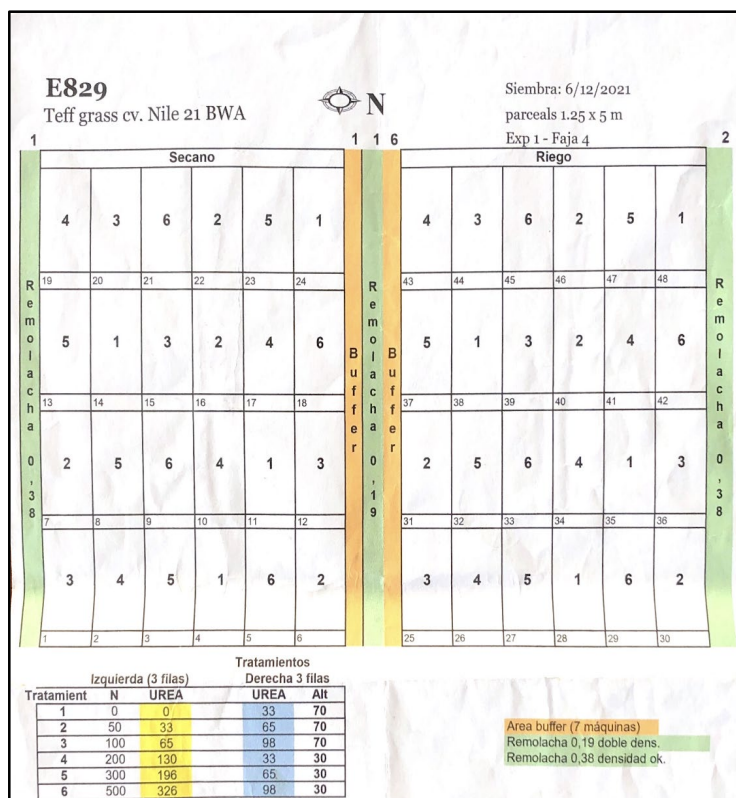
#### 4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento fue diseñado en bloques en serie (Riego y Secano) completamente al azar, donde cada uno de ellos se compone de 4 bloques, 6 tratamientos y 24 unidades experimentales.

Los tratamientos corresponden a las diferentes dosis de nitrógeno (0, 50, 100, 200, 300 y 500 kg N/ha) que fueron aplicadas sobre las 24 unidades experimentales.

Figura 4

## Croquis diseño experimental



## 4.2 PROCEDIMIENTO A CAMPO

## 4.2.1 Manejo del Riego

El riego fue manejado con un criterio de 30 milímetros por semana en el periodo que va desde la siembra, 6 de diciembre, hasta el 28 de febrero. Cabe destacar que en periodos donde la deficiencia de agua ponía en riesgo la supervivencia del cultivo ambos ensayos eran regados. En aquellas semanas donde las precipitaciones acumuladas eran superiores a 30 mm no se regó y si se realizó en caso contrario. En la Tabla 1 se especifican los eventos de riego y no riego en el respectivo ensayo.

**Tabla 1***Calendario de Precipitaciones y Riegos*

Mes	Precipitaciones (mm)	Riego (30 mm)	Secano (30 mm)
6 Dic - 13 Dic	0	X	X
13 Dic - 19 Dic	22	-	-
20 Dic - 26 Dic	0	X	X
27 Dic - 02 Ene	13	X	-
03 Ene - 09 Ene	0	X	-
10 Ene - 16 Ene	72	-	-
17 Ene - 23 Ene	48	-	-
24 Ene - 30 Ene	7	X	-
31 Ene - 06 Feb	20	X	-
7 Feb - 13 Feb	0	X	-
14 Feb - 20 Feb	17	X	-
21 Feb - 27 Feb	57	-	-
28-Feb	0	- <sup>1</sup>	- <sup>2</sup>
<b>Total (mm)</b>	<b>256</b>	<b>496</b>	<b>331</b>

*Nota.* X = Riego efectuado; 1 = Precipitación + Riego; 2 = Precipitación + Riego

Como se puede observar en la tabla 1 el ensayo en secano fue regado a la siembra ya que se consideró necesario para darle una buena implantación y que ambos ensayos tuvieran igualdad de condiciones a la siembra. En el mes de diciembre más específicamente la semana comprendida entre el 20 y 26 del mes en cuestión se consideró necesario regar ya que a 20 días de efectuada la siembra no hubo precipitaciones y no había pronósticos de lluvias para lo que restaba del mes, por ello se regaron ambos ensayos para no exponer su sobrevivencia. Luego de estas excepciones el experimento continuó con normalidad regando únicamente el ensayo bajo riego 30 mm por semana si las precipitaciones eran menores a dicho volumen.

#### 4.2.2 Manejo del Nitrógeno

El nitrógeno correspondiente a cada tratamiento se aplicó manualmente según las cantidades ajustadas a la parcela. Esta fertilización se realizó el día 2 de febrero posterior a un primer corte a una altura de 7 cm aproximadamente realizado el día 27 de enero (Ver Anexo B4).

#### 4.3 MODELO ESTADISTICO

$$Y_{ijk} = R + B_j(R_i) + N_k + (RN)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

- $Y_{ijk}$ : Es la variable dependiente que estamos tratando de modelar y analizar.
- $R$ : Es el valor base promedio de la producción de biomasa cuando todos los efectos de los factores (dosis de nitrógeno y ambiente) son cero.



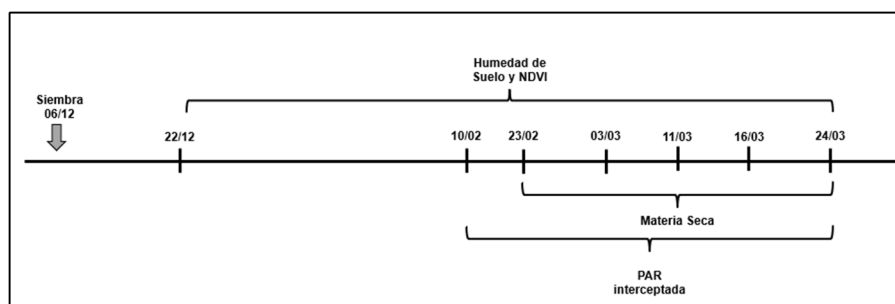
- $B_j(R_i)$ : Es el efecto específico de cada dosis de nitrógeno en cada ambiente sobre la producción de biomasa.
- $N_k$ : Mide cómo varía la producción de biomasa en función del ambiente, manteniendo constantes las dosis de nitrógeno.
- $(RN)_{jk}$ : Muestra cómo la combinación específica de cada dosis de nitrógeno y cada ambiente afecta a la producción de biomasa, y si el efecto de la dosis de nitrógeno varía en función del ambiente.
- $\epsilon_{ijk}$ : Es el término de error o perturbación aleatoria que captura la variabilidad en la producción de biomasa que no está explicada por los factores y sus interacciones en el modelo.

#### 4.4 DETERMINACIONES REALIZADAS

El 22 de diciembre se comenzaron las determinaciones de variables como humedad del Suelo y NDVI; momento en el cual también se realizó un conteo de plantas por parcela, utilizando un cuadro de 30 cm por 30 cm para estimar la población de plantas implantadas. Como se mencionó el día 27 de enero cuando el verdeo había alcanzado una altura de 30 - 40 cm se realizó un primer corte dejando un remanente de 7 cm. Posteriormente, con el verdeo fertilizado y recuperado, el 10 de febrero se suma además de NDVI y Humedad del suelo la determinación de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), todas estas variables de interés para el experimento. Las determinaciones se realizaron hasta el 24 de marzo llegando a un total de 7 mediciones para NDVI y Humedad del suelo y 6 mediciones para PAR. A partir del 10 de febrero las determinaciones de estas tres variables se realizaban el mismo día y de forma sucesiva. A continuación, se describirán cada una de las mencionadas.

#### Figura 5

##### *Línea de tiempo para determinaciones realizadas*



##### 4.4.1 Humedad del suelo

Para la determinación de Humedad del suelo se utilizó el sensor TDR 350 (Ver Anexo B1). Esta herramienta consiste en una estructura con dos varillas metálicas en la base las cuales se introducen en los primeros 15 cm del suelo y arroja un valor de humedad en porcentaje. Se midió la humedad en los primeros centímetros de suelo con el fin de llevar un registro de esta, ver como varía a lo largo del ciclo,

y para comparar entre ambientes. Se tomaron registros de humedad en el periodo del 22 de diciembre al 24 de marzo, tomando dos mediciones por parcela, y promediando estos a un único valor por parcela. En este periodo de tiempo se realizaron 7 mediciones.

#### 4.4.2 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado

Esta variable se midió dos veces por parcela promediando ambos valores. La misma se registró utilizando el Greenseeker (Ver Anexo B2), una herramienta la cual se expone por encima del forraje y mediante sensores nos da un dato de NDVI el cual va de 0 a 0,99 donde los menores valores corresponden a vegetaciones ralas o suelos descubiertos y vegetaciones densas, húmedas y bien desarrolladas para los mayores valores, así como valores negativos para el agua. Chuvieco et al. (1999) clasifican una comunidad agrícola en 5 categorías de NDVI, la primera va de 0-0,2, suelo sin vegetación, vegetación media de 0,4-0,6 y muy densa de 0,8-1. A su vez, en un informe publicado por el GUB, se menciona para el caso de las pasturas naturales los valores mensuales de NDVI oscilan entre 0.60 a 0.65 para pasturas saludables, y 0.50 a 0.55 en inviernos secos y en años secos los valores disminuyen hasta 0.17 (Banco Mundial, 2013).

#### 4.4.3 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

La PAR se mide mediante el dispositivo Accupar LP-80 el cual permite estimar la radiación fotosintéticamente activa que llega a la superficie del sensor (Ver Anexo B3). Para este ensayo las determinaciones se hacían por encima del verdeo lo cual permitía estimar la PAR total que llegaba al forraje y a través de las determinaciones por debajo del forraje, se determinaba por diferencia la PAR interceptada por el cultivo. Este procedimiento se realizaba una vez por parcela.

#### 4.4.4 Materia Seca y Composición Botánica

Las mediciones de Materia seca se realizaron con un cuadro de 20 cm por 50 cm. Este cuadro se posaba de forma aleatoria sobre cada parcela, cortando al ras del suelo todo el crecimiento del cultivo dentro del cuadro y se guardaba dentro de una bolsa. Todo el material dentro de la bolsa posteriormente era pesado en fresco. Una vez pesadas las 48 muestras, se procedía a separar laminas y vainas del tallo en cada una de ellas para luego realizar la relación hoja/ tallo, donde lamina y vaina correspondían a hoja (Ver Anexo B7). Se pesaban las hojas y tallos en base fresca y por último se ingresaban a la estufa por 48 h a 60°C. Pasadas las 48 horas, se pesaba el material seco y se determinaba el porcentaje de materia seca. El periodo en el cual se realizaron las correspondientes mediciones de materia seca y composición botánica comenzó el 23 de febrero y culminó el 24 de marzo, periodo en el cual se realizaron 5 determinaciones (Ver Anexos B5 y B6).

#### 4.4.5 SPAD y Nitrógeno en la Parte superior del Canopeo

Al realizar el corte para la determinación de Materia Seca, al mismo tiempo se cortó por fuera del cuadro de manera aleatoria los últimos 10 a 15 cm del forraje que cabía dentro de un puño (muestra) aproximadamente y era guardado dentro de una bolsa. Una vez en el laboratorio se pasaba a utilizar el SPAD. Esta herramienta permite conocer la cantidad de clorofila que contiene la hoja, por lo tanto, se busca conocer la cantidad de clorofila presente en los últimos centímetros del tope del canopeo. De cada muestra se tomaron 30 medidas de clorofila con el SPAD y se promediaron.

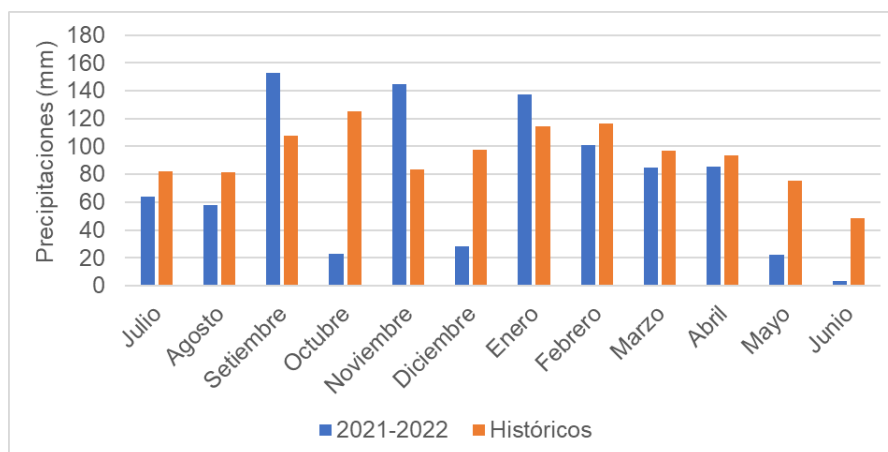
## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El factor año es una variable de relevancia en ensayos expuestos a las condiciones agroclimáticas como determinantes del resultado. Por ello, en este caso, se analizaron datos de precipitación acumulada y temperatura promedio de los meses del ejercicio 2021/2022 y se compararon con datos históricos desde el año 2010 a la actualidad. Estos datos fueron tomados de la plataforma Portal INIA GRAS correspondientes a la estación de INIA La Estanzuela.

**Figura 6**

*Precipitaciones ejercicio 2021-2022 y registros históricos, INIA La Estanzuela.*



*Nota.* Datos tomados de INIA (2024a).

Las precipitaciones totales del ejercicio comprendido entre los meses de julio 2021 y junio 2022 fueron aproximadamente un 30 por ciento menores a la media anual del país, 1250 mm (Durán & García Préchac, 2007).

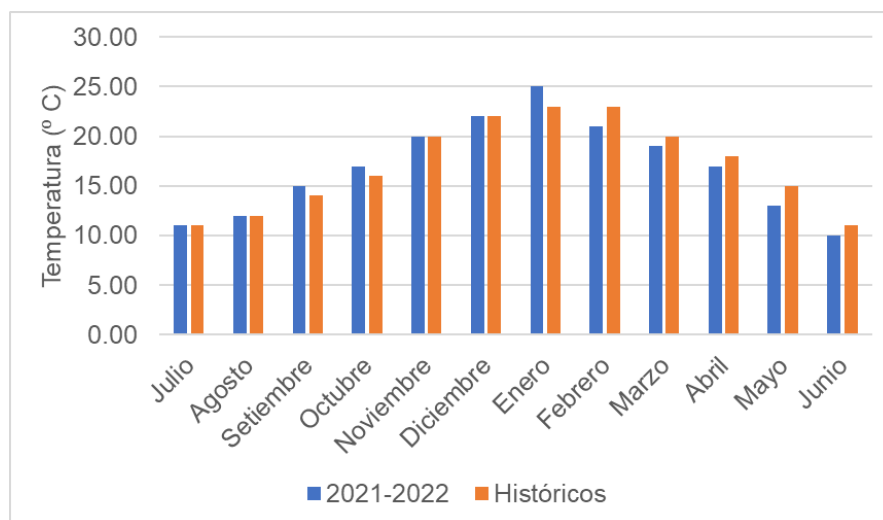
En cuanto a la variabilidad, las precipitaciones, estas fueron heterogéneas, teniendo picos negativos pronunciados debido a meses tales como octubre y diciembre donde las mismas fueron bajas (23 mm en octubre, 28 mm en diciembre).

En lo que respecta a las precipitaciones acumuladas entre diciembre y abril, periodo que abarca la preparación de la cama de siembra y el desarrollo del cultivo, las mismas no tuvieron diferencias significativas comparados con datos históricos, sumando un total de 500 mm (INIA, 2024a). Sí se pudo apreciar en ese periodo son, las diferencias entre los mínimos y los máximos para el año en estudio y los promedios históricos. El mes de noviembre para el año evaluado presentó un valor acumulado máximo de 145 mm mientras en diciembre tuvo un acumulado de 29 mm y enero un acumulado de 138 mm. Por otro parte, los datos

históricos muestran precipitaciones acumuladas para estos meses de 84mm, 97 mm y 115 mm para noviembre, diciembre y enero respectivamente (INIA, 2024a). Por lo tanto, la diferencia entre el año evaluado y el promedio histórico radica en la variación dentro del año, por ejemplo, meses muy por debajo del histórico como octubre y diciembre y meses por encima del histórico tales como setiembre y noviembre sin afectar el promedio total de precipitación anual. Sin embargo, estos periodos de variación coinciden con periodos de preparación de cama de siembra, simbra y desarrollo inicial del cultivo.

### Figura 7

*Temperatura promedio mensual 2021-2022 y registros históricos, INIA La Estanzuela*



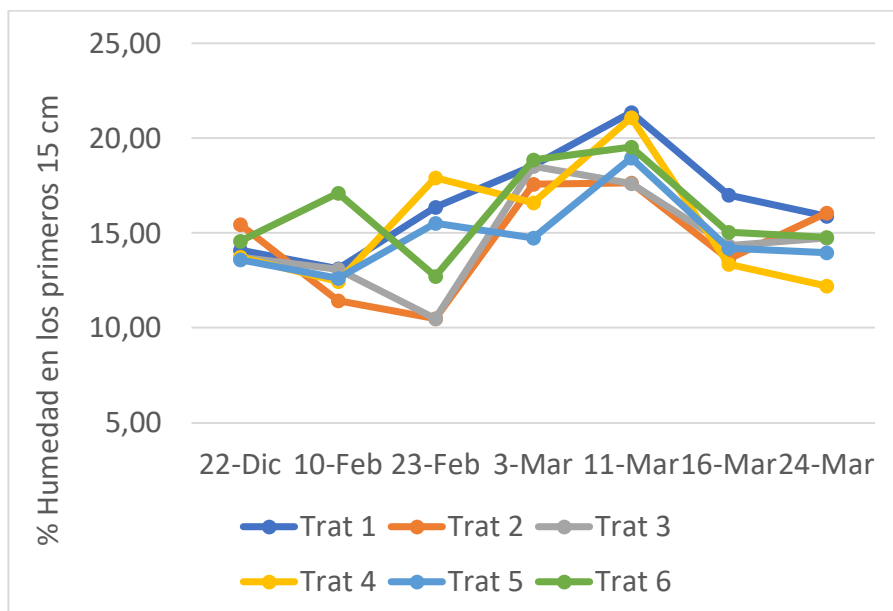
*Nota.* Datos tomados de INIA (2024a)

La temperatura promedio del ejercicio 21/22, no presentó diferencias con los registros históricos, registrando un promedio de 17° C. En el periodo evaluado, es decir de noviembre a marzo, la temperatura promedio fue de 21° C tanto para registros históricos como el año evaluado, mientras que los máximos y mínimos promedios para el periodo de noviembre a marzo fue de 13 ° C y 30 ° C en los registros históricos comparados con 17 ° C y 27 ° C para el 21/22 (INIA, 2024a). Esto nos indica que, en el periodo evaluado, el 21/22 tuvo una menor amplitud térmica promedio, con temperaturas mínimas mayores y máximas menores a las históricas. De esto se podría concluir que las temperaturas máximas promedio de la estación estival (30 ° C) estuvieron dentro de las temperaturas estivales normales del país según Durán y García Préchac (2007), quienes reportan temperaturas máximas de entre 30 y 32 ° C y que a pesar de que las temperaturas medias mínimas estuvieron por encima de los registros históricos, en relación a esto Miller (2011) menciona que teff no soporta temperaturas de helada y que temperaturas entre 18 y 28 ° C permiten un desarrollo normal del cultivo.

## 5.2 HUMEDAD DEL SUELO Y BALANCE HIDRICO

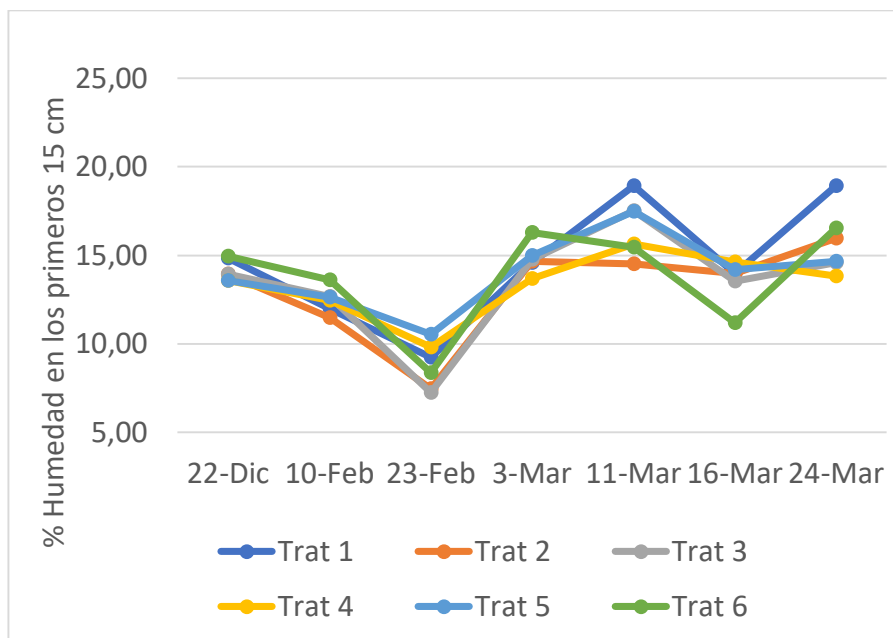
**Figura 8**

*Humedad del suelo para ensayo bajo riego en el periodo evaluado*



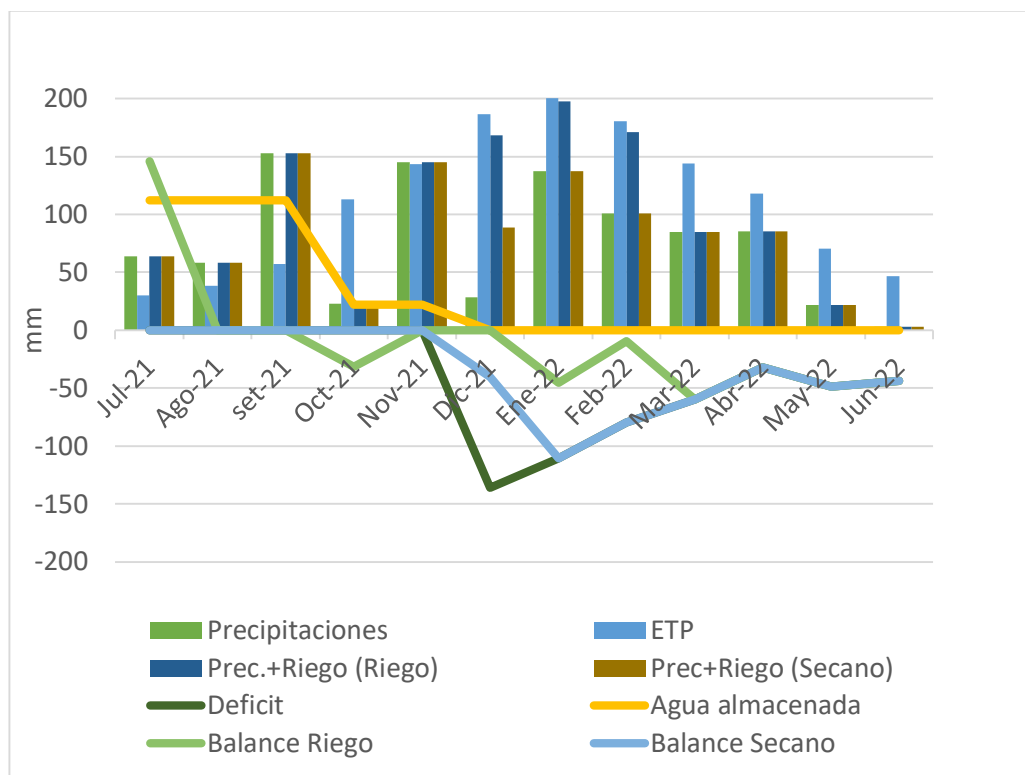
**Figura 9**

*Humedad del suelo para ensayo en seco en el periodo evaluado.*



**Figura 10**

*Balance hídrico ejercicio 2021-2022, INIA La Estanzuela*



*Nota.* Datos tomados de INIA (2024a)

Esta figura describe el balance hídrico para el ejercicio 2021-2022 para la localidad de La Estanzuela. Se puede notar en las barras la ETP, las precipitaciones promedio mensuales para el 2021/2022 y la acumulación de milímetros para el ensayo bajo riego y en seco, es decir, precipitaciones más riegos realizados.

Por otra parte, en líneas, se representa los déficits para cada escenario, es decir, solo precipitaciones y precipitaciones más riego en ambos ensayos, riego y seco.

Se puede notar que a partir del mes de diciembre a pesar de que hubo déficit hídrico en todos los escenarios el ambiente bajo riego presentó una menor deficiencia.

## **6 RESPUESTA DE LAS VARIABLES ANALIZADAS A LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

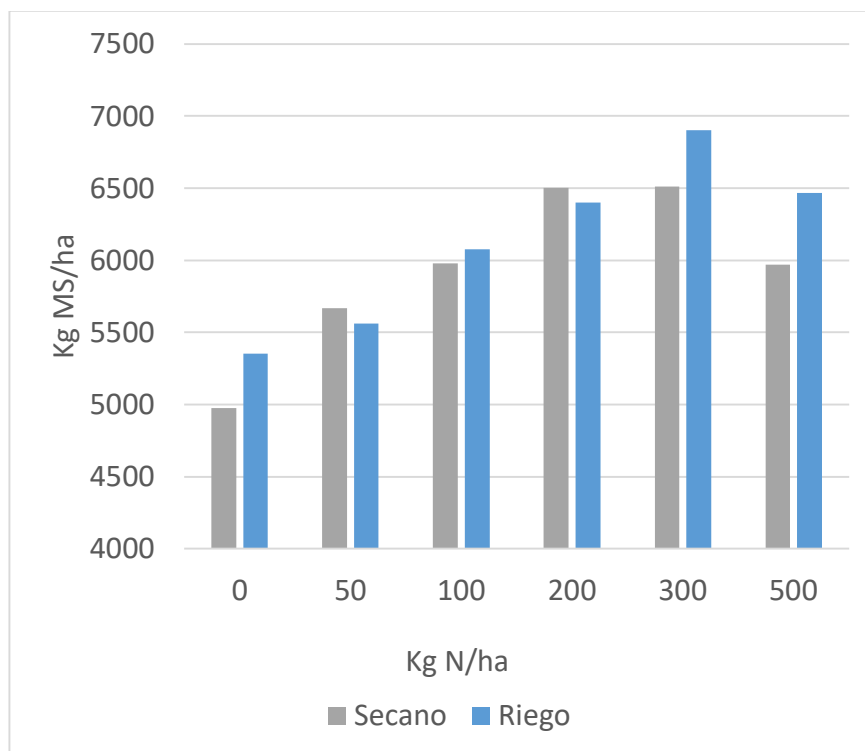
### **6.1 KILOGRAMOS DE MATERIA SECA POR UNIDAD DE SUPERFICIE**

Se cuantificó la producción de forraje de Teff en Kg de MS/ha para el ensayo bajo riego y para el ensayo en seco. Para dicha determinación se realizaron cortes semanales de los cuales se extraía el dato de porcentaje de materia seca de cada parcela obteniendo la producción de materia seca por unidad de área.

Cabe destacar que la producción del cultivo bajo diferentes ambientes no fue significativa, reportando rendimientos de 7600 y 7800 kg MS/ha en seco y riego respectivamente. Esto se puede asociar a que, si bien se realizaron ambientes diferentes a nivel hídrico, estos no fueron completamente contrastantes. Ambos ensayos fueron regados a la siembra para que las condiciones de implantación fueran óptimas. A su vez, en el mes de diciembre, mes donde se realizó la siembra, las precipitaciones acumuladas fueron de 28mm por lo que se tuvo que realizar además del riego a la siembra, un riego más de 30mm para no poner en riesgo la supervivencia y desarrollo del cultivo. Estos eventos de riego en la implantación e inicio del desarrollo del cultivo en seco, pudo tener una incidencia en enmascarar el efecto ambiente que se deseaba tener realmente.

Miller (2011) menciona que diversos informes indican que teff es relativamente tolerante a sequías una vez establecido, es por ello que al partir de una implantación sin deficiencias de agua, una aplicación de riego en seco en diciembre y con un periodo de enero a marzo donde las precipitaciones no fueron limitantes, el efecto ambiente no fue totalmente contrastante teniendo solamente una diferencia de 150 mm aproximadamente entre riego y seco.



**Figura 11***Rendimiento en riego y seco según dosis de nitrógeno*

Los datos analizados mostraron que en ambos ambientes la respuesta de la producción de materia seca a diferentes dosis de nitrógeno fue cuadrática negativa, esto quiere decir que hay una dosis óptima donde se da también un máximo de producción. La dosis óptima para ambos ambientes fue el tratamiento 5 correspondiente a 300 Kg de N/ha, resultando en una producción de 6500 en seco y 6900 kg MS/ ha bajo riego. Por encima de esta dosis cada unidad agregada tiene una respuesta negativa para la producción. Si bien el máximo se da con una dosis de 300 kg de N/ha, las dosis de 50, 100 y 200 es decir tratamientos 2, 3 y 4 no presentaron diferencias significativas con la dosis óptima (Ver Anexo A1, A2, A3 y A4).

Figura 12

*Kg de MS/ha según dosis de nitrógeno bajo riego*

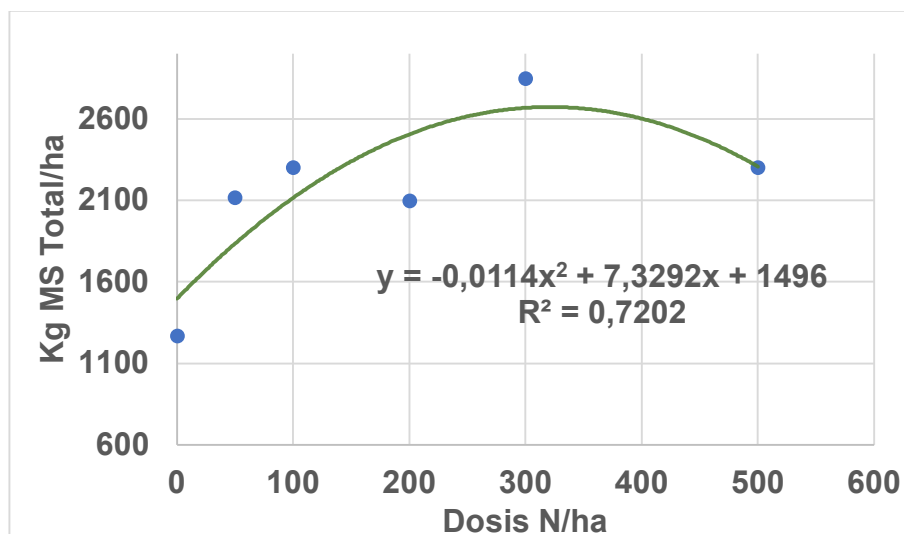
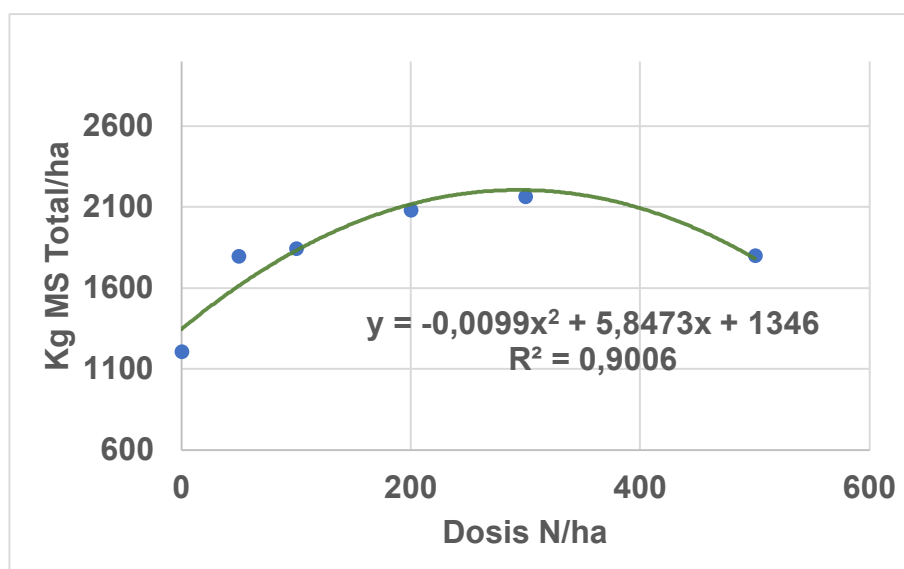


Figura 13

*Kg de MS/ha según dosis de nitrógeno en seco*



El ensayo rindió en promedio 7500 kg MS/ha en seco y 7800 kg MS/ha bajo riego. Con relación a la información recabada existen diversas fuentes con registros de rendimientos de Teff. Por ejemplo Miller (2011) y López et al. (2022) mencionan rendimientos que oscilan entre 10 y 17 toneladas de MS/ha y 7,5 toneladas de MS/ha respectivamente. Además, un ensayo realizado en INIA la Estanzuela durante el mismo periodo, con la misma especie, variedad y ubicación, pero, diferentes objetivos, donde se evaluó la respuesta en la producción de materia seca a diferentes alturas de corte, 30 y 70 cm; las producciones promedio totales fueron de 7100 en seco y 7600 kg MS/ha en riego (F. Gutiérrez,

comunicación personal, 17 de octubre, 2023). Por otro lado, en Navarra, España un experimento llevado a cabo por el INTIA en Teff, registraron producciones totales de 5700 kg MS/ha (Mangdado Urdániz, 2017). Por lo que se podría decir que los rendimientos obtenidos se encuentran en el entorno de lo reportado por bibliografías internacionales como regionales.

En cuanto a la respuesta a las diferentes dosis de nitrógeno, un trabajo realizado por varias universidades de Estados Unidos se concluyó que, existe respuesta a la fertilización nitrogenada en Teff en los periodos de siembra y luego del primer y/o segundo corte o pastoreo (Roseberg et al., 2018)

Además, a modo general, Carámbula (2002) afirma una correlación positiva entre gramíneas y nitrógeno, determinando una respuesta casi lineal en dosis de hasta 350 kg N/ha.

Carámbula (2002) agrega además que, si bien ante el aumento de dosis de nitrógeno por encima de los 350 kg N/ha se produce un aumento en la producción de materia seca, el mismo es porcentualmente menor a medida que la dosis se eleva.

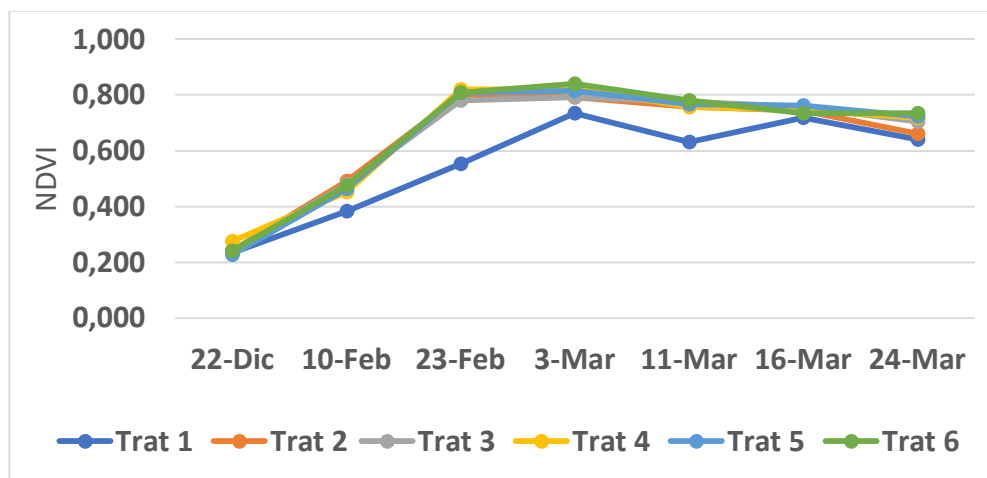
## 6.2 ÍNDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA.

Como ya fue mencionado anteriormente los valores NDVI, van del 0 al 1, donde, los mayores valores se dan con vegetaciones densas, húmedas y bien desarrolladas y los menores valores se dan con vegetaciones ralas o suelos descubiertos

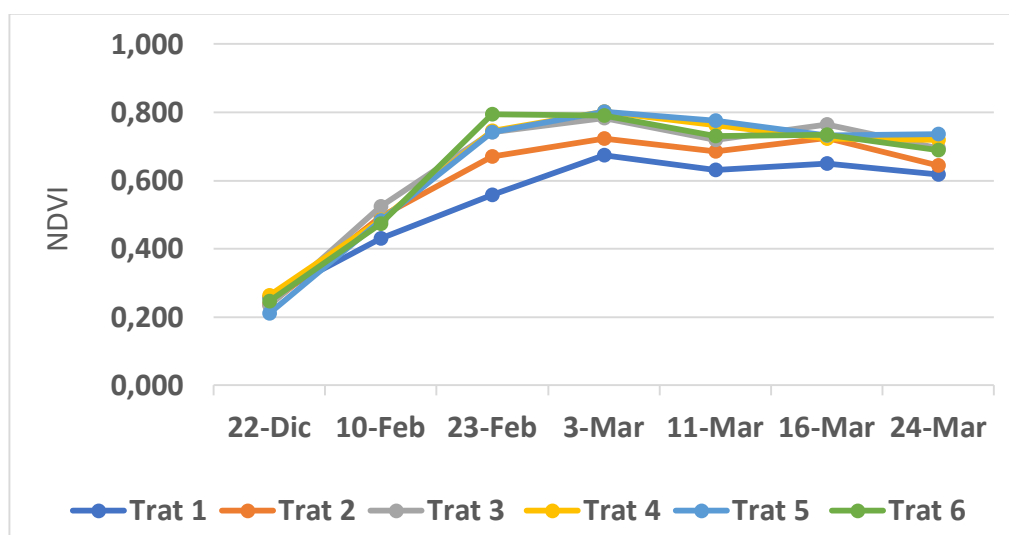
Los valores de NDVI en ambos ambientes mantuvieron valores promedios de entre 0,500 y 0,700. Si analizamos el comportamiento del NDVI durante el periodo evaluado, las primeras tres mediciones realizadas el 22 de diciembre, el 10 y 23 de febrero, los valores de NDVI fueron en aumento, presentando una respuesta lineal en función del tiempo. Luego del 23 de febrero todos los tratamientos se mantienen constante en el tiempo, con valores de entre 0.600 a 0.800.

**Figura 14**

*Comportamiento NDVI bajo riego durante periodo evaluado*

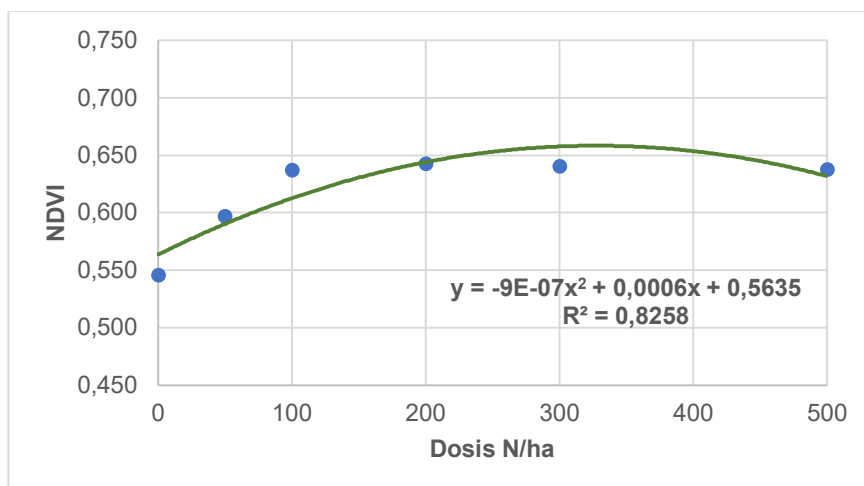
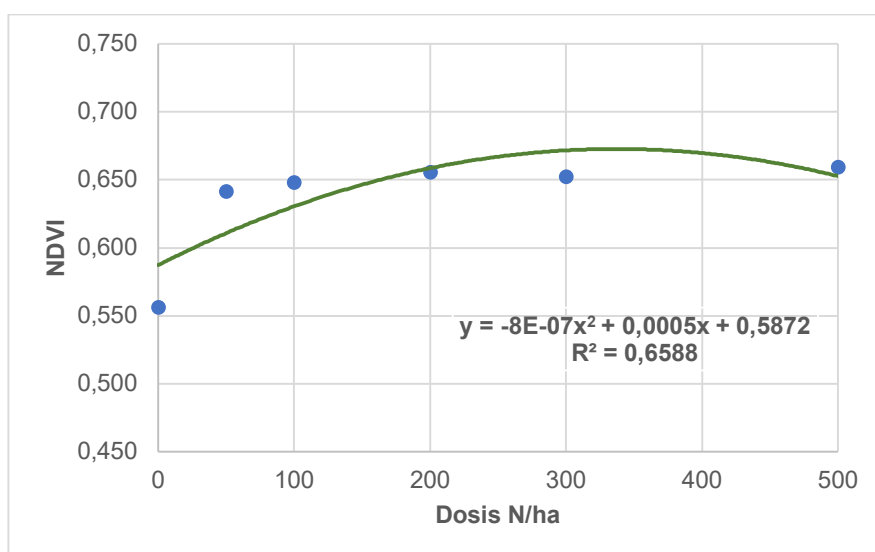
**Figura 15**

*Comportamiento NDVI en seco durante periodo evaluado*



En cuanto a los tratamientos, no existieron diferencias significativas entre las medias; sin embargo, los mayores valores 0,660 y 0,640, se dieron con 500 kg de N/ha en riego, y 200 Kg de N/ha en seco respectivamente.

El NDVI en función de la Dosis de N/ha, tanto en riego como en seco, muestra una regresión cuadrática negativa, donde aproximadamente con dosis de entre 100 a 300 kg N/ha se dan los valores máximos por lo que se podría asociar a una dosis óptima. Luego de los 300 kg N/ha, los valores de NDVI se mantienen relativamente constantes, por lo que no correspondería una mayor dosis de nitrógeno.

**Figura 16***Regresión NDVI por tratamientos bajo riego***Figura 17***Regresión NDVI por tratamientos en seco*

Como fue mencionado, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los ambientes (Ver Anexos A5, A6, A7 y A8), dado que no hay una respuesta marcada entre dosis de nitrógeno y NDVI. Sin embargo, un estudio similar realizado por el INTA en cebada y trigo, observó una asociación adecuada entre el índice NDVI y la disponibilidad de nitrógeno, demostrando una respuesta positiva ante el agregado de nitrógeno hasta valores de 51 Kg/ha, por sobre este valor no hay respuesta significativa ante el agregado del nutriente (Ross & Lopez de Sabando, 2016). Además, un trabajo realizado en Etiopia con Teff, donde aseguran que tratamientos con mayores rangos de nitrógeno resultaron en valores

más elevados de NDVI. Los valores mínimos y máximos obtenidos de este índice son de 0,55 y 0,64 en este trabajo, mientras que en el experimento realizado en Etiopía los resultados oscilaron entre 0.58 y 0,69. Si bien el análisis estadístico no demuestra diferencias significativas ante el agregado de nitrógeno, las bibliografías citadas demuestran lo contrario (Araya et al., 2019).

### 6.3 RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA INTERCEPTADA.

La radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada, refiere a aquella efectivamente interceptada por el cultivo. Las medidas resumen del análisis estadístico de esta variable, presenta un comportamiento similar al NDVI.

**Figura 18**

*PAR interceptada en función de tiempo bajo riego*

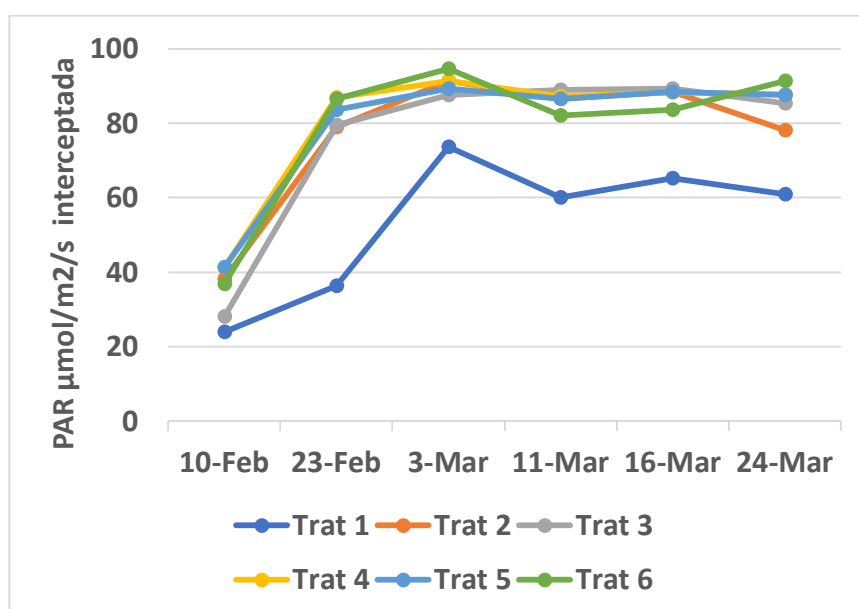
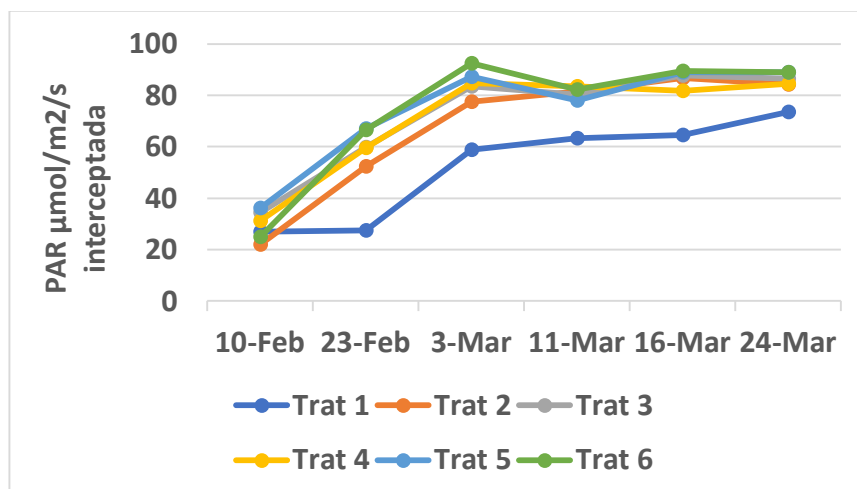


Figura 19

*PAR interceptada en función del tiempo en seco*



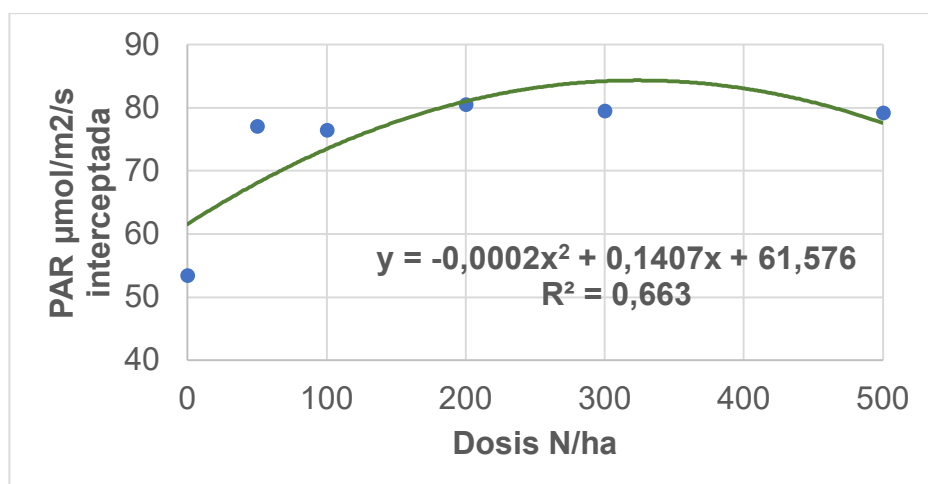
El comportamiento de la PAR interceptada en función del tiempo muestra una respuesta lineal hasta el 23 de febrero en el ensayo bajo riego y hasta el 3 de marzo en seco donde luego se mantiene constante en la mayoría de los tratamientos. A su vez, hay un aumento de los valores de PAR interceptada en un menor periodo de tiempo en el ensayo bajo riego donde alcanzan valores de 80 % de intercepción el 23 de febrero mientras que en seco estos valores se aprecian a partir del 3 de marzo aproximadamente. En ambos ensayos, el tratamiento 1, es decir dosis 0 de nitrógeno fue el que presentó los menores valores de intercepción, presentando un máximo de 74% de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa. Esta respuesta del tratamiento 1 se puede asociar a la no fertilización nitrogenada, lo que se puede atribuir en un menor desarrollo foliar, menor densidad de follaje, menor altura de planta y por lo tanto una menor intercepción de la radiación solar. Según Formoso y Allegri (1980), el nitrógeno es un componente esencial de las proteínas y varias sustancias de crecimiento de las plantas siendo este un estimulante esencial del crecimiento. A su vez, Bemhaja (1994) destaca que pasturas de alta producción como las gramíneas son dependientes de la fijación biológica del nitrógeno por parte de las leguminosas y/o de la fertilización nitrogenada, por consiguiente es lógico que el tratamiento sin fertilización presente valores inferiores de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa.

Al igual que el NDVI la PAR interceptada acompaña el crecimiento del cultivo, a medida que este se desarrolla, la misma aumenta hasta un máximo de intercepción con valores de entre 85 y 95 %, para luego disminuir levemente o mantenerse en todos los tratamientos. La correlación positiva entre la producción de forraje y la fertilización nitrogenada lleva a una mayor intercepción de la radiación solar. La PAR interceptada llega a un máximo de intercepción de radiación donde los valores de PAR se mantienen constantes, esto se debe a que se llega a un nivel de área foliar donde el sombreado y competencia por luz predominan impidiendo una mayor intercepción de radiación solar.

En las siguientes graficas se puede observar la respuesta de PAR interceptada a las diferentes dosis de nitrógeno, la cual es cuadrática negativa mostrando un óptimo en ambos ambientes con dosis de entre 300 y 400 kg de Nitrógeno por hectárea para lograr una interceptación promedio mayor a 80% en el sistema bajo riego y entre 70 y 80 % en secano. Esta diferencia en el porcentaje de interceptación entre ambientes puede estar dada por una mayor densidad de forraje promedio en el ensayo al bajo riego al momento de tomar las medidas.

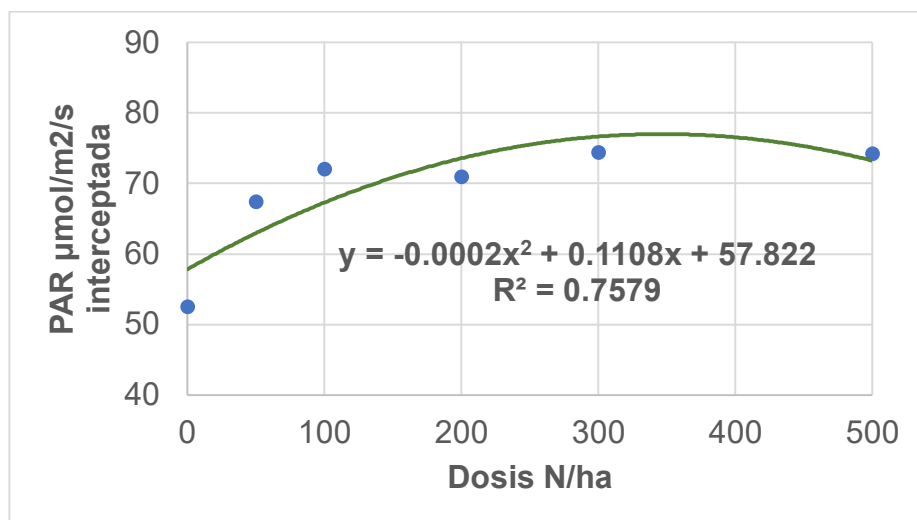
**Figura 20**

*PAR interceptada en función de tratamientos bajo riego*



**Figura 21**

*PAR interceptada en función de tratamientos en secano*



Para el ensayo bajo riego, la prueba tukey (Ver Anexo A9) nos indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos 2 a 6 es decir desde la dosis de 50 a 500 Kg N/ha. El tratamiento 1, sin agregado de nitrógeno presente



los valores más bajos de PAR interceptada, mientras que, el tratamiento 4 (200 Kg N/ha) presentó la mayor media.

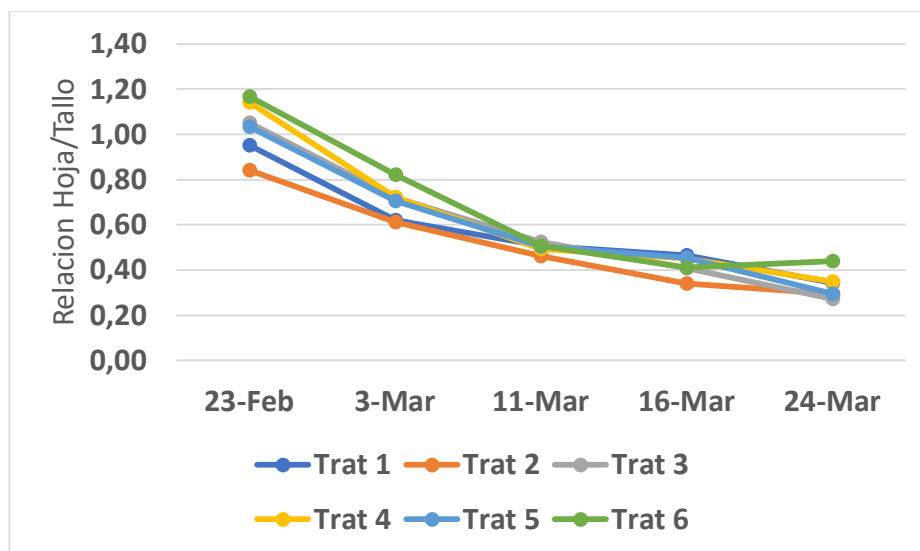
Para el ensayo en seco, la prueba tukey (Ver Anexo A10) muestra que la mejor media de PAR interceptada fue la del tratamiento 5, 300 kg N/ha, la cual no presenta diferencias significativas con los tratamientos 3 y 6, 100 y 500 kg N/ha. Para el caso del 6, 500 kg N/ha, no justificaría aplicar una dosis mayor si la respuesta no es significativamente diferente y la dosis de 100 kg N/ha, tratamiento 3, habría que evaluar las diferentes variables en las que podríamos inferir con esa dosis, pero para la PAR interceptada, no hay diferencias significativas entre los tratamientos 3, 5 y 6.

Durán Bautista et al. (2015) definen a la radiación fotosintéticamente activa como la fracción del espectro solar comprendida entre los 400 y 700 nanómetros, la cual es absorbida por las plantas, almacenada y transformada en energía mediante la fotosíntesis y Escobedo et al. (2020) mencionan que el monitoreo de la PAR es importante para una evaluación temporal y dar seguimiento al crecimiento del cultivo. Por ello, la radiación fotosintéticamente activa a pesar de que en este caso existen diferencias significativas entre los tratamientos, se podría tomar como una variable a la que afectamos indirectamente, ya que con dosis mayores a 50 kg de N/ha, los valores de PAR interceptada son buenos. Es decir, fertilizando con una dosis que afecte directamente, por ejemplo, el rendimiento en kg de MS/ha incidimos indirectamente sobre la PAR interceptada.

En concordancia con lo mencionado a partir de los resultados obtenidos, en base a la relación entre biomasa, nitrógeno y PAR, una investigación llevada a cabo en el Instituto de Investigación Agrícola de la India (IARI), donde evaluaron la respuesta de PAR y área foliar a diferentes dosis de nitrógeno y riego en trigo. Este trabajo concluyó que la radiación fotosintéticamente activa interceptada aumento con el aumento del área foliar, inicialmente a una tasa alta para luego estabilizarse, y a su vez los niveles de nitrógeno tuvieron un efecto significativo en la PAR interceptada. Por otro lado, los niveles de riego no tuvieron una respuesta significativa sobre la PAR interceptada (Pradhan et al., 2018).

#### 6.4 RELACIÓN HOJA/TALLO

La composición botánica, consiste en evaluar la proporción en base seca de hojas (lamina y vaina) y tallos y la variación de esta relación a lo largo del ciclo. En la gráfica se puede notar que la tendencia de los tratamientos en ambos ambientes es negativa, lo cual es lógico ya que, en la medida que aumenta la edad en días del cultivo la proporción de hojas disminuye y la de tallos aumenta.

**Figura 22***Composición botánica a lo largo del ciclo***Tabla 2***Composición botánica según tratamientos en riego*

Días	1	2	3	4	5	6
79	0.95	0.84	1.05	1.14	1.04	1.17
87	0.62	0.61	0.72	0.72	0.71	0.82
95	0.51	0.46	0.52	0.49	0.50	0.51
100	0.46	0.34	0.41	0.45	0.45	0.41
108	0.34	0.30	0.27	0.35	0.30	0.44

**Tabla 3***Composición botánica según tratamientos en seco*

Días	1	2	3	4	5	6
79	0.82	1.08	1.01	1.20	1.12	0.95
87	0.65	0.72	0.56	0.70	0.69	0.71
95	0.52	0.46	0.49	0.58	0.56	0.54
100	0.50	0.34	0.36	0.38	0.46	0.47
108	0.40	0.30	0.30	0.35	0.44	0.38

A modo de simplificar, estas tablas indican el valor de la relación hoja/tallo en BS según la edad en días del cultivo para cada tratamiento del 1 al 6, en ambos ambientes. A simple vista, según los datos presentados no hay una diferencia importante entre tratamientos.

Se puede notar que aquellos tratamientos que mantuvieron una mayor proporción de hojas durante el intervalo evaluado fueron los tratamientos con dosis mayores

a 200 kg de nitrógeno por hectárea, por lo que podríamos decir que con la dosis mencionada tendríamos una buena y estable relación hoja/tallo durante el ciclo, y no se justificaría una mayor dosis.

La prueba Tukey (Ver Anexo A11 y A12) afirma que para ambos ambientes no existe efecto de las diferentes dosis de nitrógeno sobre la proporción de hojas y tallos a lo largo del ciclo. Sin embargo, la dosis de 300 kg de N/ha presentó la mejor media de todos los tratamientos.

El efecto del nitrógeno en la variable hoja/tallo, fue más notorio en el ensayo en seco, el ensayo bajo riego no hay prácticamente diferencias entre los tratamientos.

Esta relación, hoja/tallo, obtenida a partir del peso seco de cada uno de los componentes, es un parámetro más a monitorear que nos indica una estimación de la calidad del forraje, así como nos ayuda a llevar un adecuado manejo. Está comprobado que a medida que avanzan los estados fenológicos de una pastura, la proporción de hojas disminuye con respecto a la de tallos, por lo tanto, esto lleva a una menor calidad nutritiva (Liendo et al., 2019). Van Soest (2014), menciona además que, entre los componentes existentes en las reservas de las plantas, se encuentran estructurales, todos con una digestibilidad alta, y que a medida que aumenta la madurez de la planta estas sustancias comienzan a disminuir lo que lleva a una disminución de la digestibilidad.

En cuanto a lo observado en el ensayo, que no existen diferencias significativas según las diferentes dosis de nitrógeno, no existen estudios que proporcionen esta información para *Eragrostis Teff*. Sin embargo, a modo general, un trabajo de investigación acerca de la respuesta a la fertilización nitrogenada en gramíneas concluye que para la especie raigrás la fertilización nitrogenada no afectó la relación hoja/tallo, mientras que en dos especies perennes estivales la respuesta sí fue significativa con niveles de fertilización de entre 150 a 300 kg N/ha (Urbano, 1997). Hunter et al. (2007) mencionan que investigaciones realizadas en cuanto a la calidad de *Teff* han demostrado que se caracteriza por tener una alta relación lamina/ vaina. Esto podría ser un tema para tratar de porque esta variable no responde a diferentes dosis de nitrógeno.

## 6.5 CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA (SPAD).

Los datos arrojados por el SPAD esta herramienta que mide la concentración de clorofila en hoja, la cual en este caso se utilizó para los últimos 10 a 15 cm de la hoja.

Figura 23

Comportamiento SPAD durante el periodo evaluado bajo riego

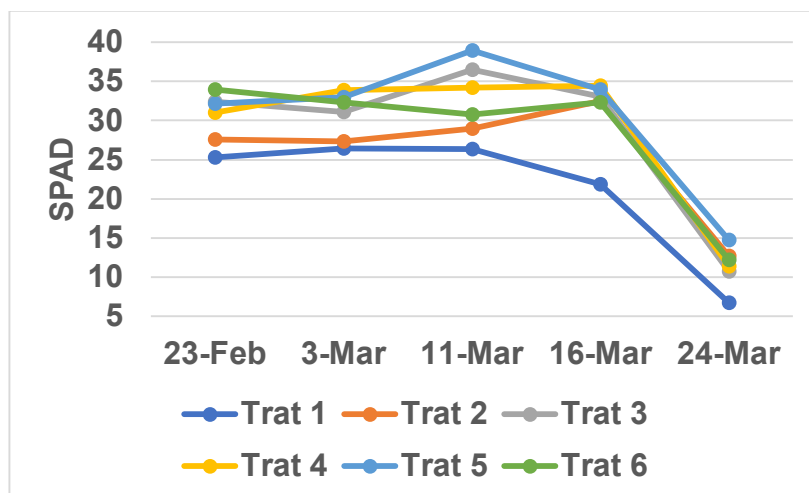
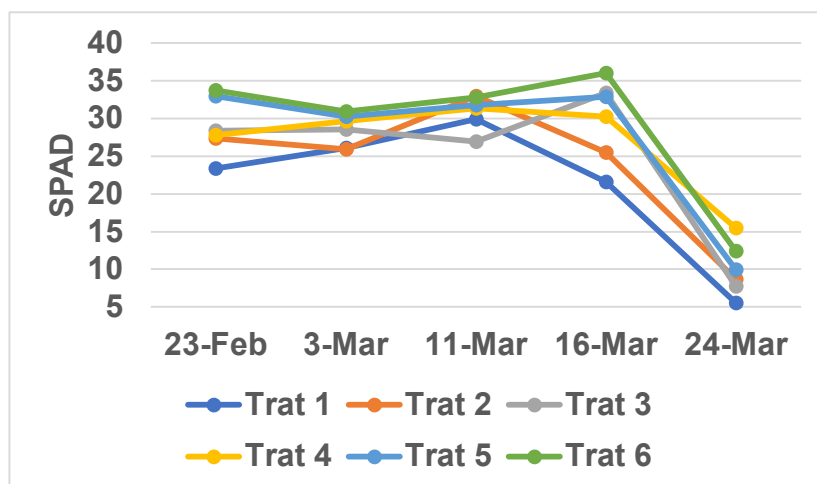


Figura 24

Comportamiento SPAD durante el periodo evaluado en seco



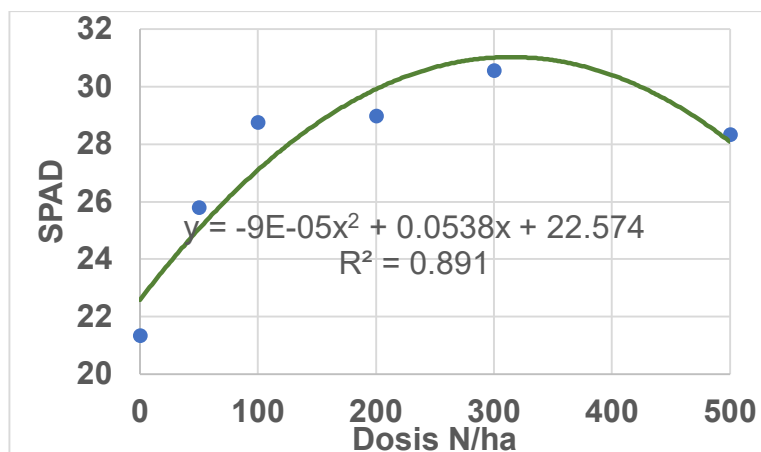
Las graficas nos muestra como vario la concentración de clorofila en los últimos cm del canopeo, medido en 5 momentos. Los tratamientos con dosis mayores a 100 kg de N/ha mostraron valores de clorofila más altos y estables en el intervalo de tiempo evaluado. Mientras que, aquellos tratamientos de nula o menores dosis tales como el 1 y 2, 0 y 50 Kg N/ha mostraron una tendencia similar a los demás tratamientos, pero comienzan a disminuir los niveles de clorofila antes. Esta tendencia fue más notoria en el ensayo sin riego.

El descenso abrupto hacia el 24 de marzo es producto de que el cultivo está culminando su ciclo, por lo que disminuye su actividad fotosintética. La clorofila, es un pigmento verde presente en las plantas que permite llevar a cabo la fotosíntesis, proceso que transforma energía lumínica en química. Por lo tanto, cuando el cultivo comienza su senescencia, disminuye la concentración de clorofila y por ende su actividad fotosintética. Aquellos tratamientos con niveles de

entre 100 a 300 kg de nitrógeno/ha mantienen mayores niveles de clorofila a lo largo del ciclo.

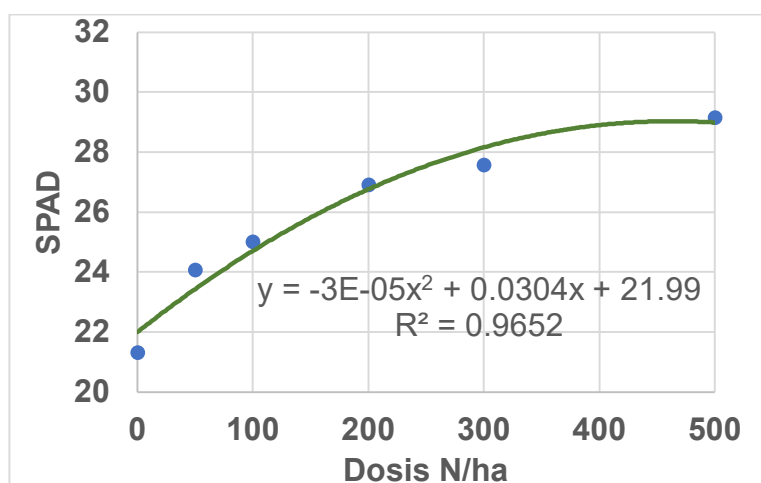
**Figura 25**

*Regresión SPAD por tratamientos bajo riego*



**Figura 26**

*Regresión SPAD por tratamientos en seco*



La relación entre el SPAD y los tratamientos (N), muestra una regresión cuadrática negativa, con un  $R^2$  alto en ambos ambientes. La misma presenta incrementos decrecientes hasta los 300 kg N/ha en el ensayo bajo riego y luego comienza a disminuir progresivamente por cada unidad agregada, por lo que podría tomarse como dosis óptima; mientras que en seco se podría decir que el valor máximo de clorofila se da con dosis de 500 kg N/ha, se supone que luego comenzaría a disminuir o tendería a ello.

El análisis de la varianza para la variable SPAD según los tratamientos en el ensayo con riego, indica que hay diferencias significativas entre al menos 1 tratamiento (Ver Anexo A13). La prueba tukey indica que la dosis de 300kg de

nitrógeno por hectárea (tratamiento 5) obtuvo la media mayor entre los tratamientos, siendo en este caso la dosis óptima para obtener los mayores niveles de clorofila en los últimos cm del canopeo de la hoja. Para el caso del ensayo sin riego, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero el tratamiento que obtuvo las mejores medias de clorofila fue el 6 y por debajo el 5, es decir que 300 kg N/ha se podría tomar como una dosis óptima en ambos ambientes para mantener niveles buenos de clorofila a lo largo del ciclo (Ver Anexo A14).

La concentración de nitrógeno de las hojas está fuertemente asociada con las lecturas del SPAD, el cual mide el verdor de las hojas, siendo una opción útil para estimar la concentración de nitrógeno en las hojas superiores e indirectamente el índice nutricional de nitrógeno (NNI), dada la alta correlación de estas variables (Errecart et al., 2012). A su vez, la clorofila, responsable por el verdor de las hojas, muestra una gran correlación con el contenido de nitrógeno (Wolfe et al., 1988).

Por otro lado, López et al. (2022) aseguran que dosis de nitrógeno en Teff superiores a la testigo (0 kg N) aumentaron los niveles de nitrógeno en planta, y Roseberg et al. (2018) aseguran que dosis de entre 60 y 100 kg N/ha dependiendo de la localidad aumentan la proteína cruda en Teff. En este caso se pudo observar que mayores dosis de nitrógeno, con un máximo en 300 Kg y 500 Kg de N/ha en riego y seco respectivamente, mayores dosis generaron mayores lecturas de SPAD, lo que indica mayores concentraciones de clorofila. Dada la alta correlación teórica que existe entre la lectura SPAD y el nitrógeno en planta, se podría asumir que este aumento en las concentraciones de clorofila se traduce en aumentos en la concentración de nitrógeno en los últimos centímetros del canopeo.

## 7 CONCLUSIONES

El presente capítulo presenta las conclusiones sobre los resultados de los ensayos ejecutados, así como posibles reflexiones sobre las variables analizadas a lo largo de este trabajo.

En lo que respecta al rendimiento de materia seca por unidad de superficie se obtuvieron valores de 7600 y 7800 Kg MS/ha en secano y riego respectivamente, coinciden con lo reportado a nivel regional e internacional. Asimismo, según las bibliografías citadas, no se logró explotar el potencial de producción de la especie, y podríamos clasificar el rendimiento obtenido en este trabajo como intermedio para el potencial de la especie.

Para este ensayo, la producción de materia seca respondió al agregado de nitrógeno en ambos ambientes. Dicha variable de respuesta se maximizó con 300 Kg N/ha, dosis por encima de la cual, la producción se redujo por cada unidad de nitrógeno agregada.

La variable NDVI, tuvo una tendencia similar en ambos ambientes durante el periodo evaluado, alcanzando valores constantes de 0.600 a 0.800 en aproximadamente 60 días a partir de la primera medición. Si bien no existieron diferencias significativas entre los tratamientos tanto en riego como en secano, las medias con valores más altos se obtuvieron con los tratamientos de entre 100 y 300 Kg N/ha.

La radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR interceptada), a pesar de tener un comportamiento similar en ambos ambientes en función del tiempo, presentando un crecimiento lineal en las primeras mediciones para luego mantener valores constantes en el entorno del 80 % de interceptación; en el ensayo bajo riego estos valores interceptación se alcanzaron una semana antes aproximadamente. En cuanto a la respuesta a los tratamientos, existieron diferencias significativas, obteniendo mayores valores de interceptación con dosis de 200 Kg N/ha bajo riego y 300 Kg N/ha en secano.

En lo que concierne a la relación hoja/tallo, si bien no presento diferencias significativas entre los tratamientos, las relaciones con una mayor proporción de hojas, por lo tanto, una mayor relación hoja/tallo, se dan con dosis de 300 kg N/ha en ambos ambientes. Por lo tanto 300 Kg N/ha podrían mantener una relación más estable de la proporción de hojas y tallos a lo largo del ciclo.

Finalmente, para la concentración de clorofila en el tope del canopeo (SPAD), en el ensayo bajo riego existieron diferencias significativas, mientras que en secano no existieron dichas diferencias. Los mayores registros de SPAD se dan con dosis de 300 Kg de N/ha en riego y 500 Kg N/ha en secano. Por consiguiente, al no existir diferencias significativas entre los tratamientos en secano, se podría tomar 300 Kg de N/ha como una dosis donde se obtienen buenas concentraciones de clorofila en el tope del canopeo.

A modo de conclusión y para ofrecer un cierre significativo a la investigación realizada, se puede deducir que los resultados obtenidos nos permiten conocer un poco más sobre la respuesta de *Eragrostis teff* a la fertilización nitrogenada.

Dentro de las variables analizadas, la producción de materia seca podría ser la de principal interés, donde las máximas producciones se dan con dosis de 300 Kg N/ha. A su vez, las demás variables analizadas, coinciden con la dosis donde se maximiza la producción de materia seca. Por lo tanto, se podría concluir que con dosis de 300 Kg de N/ha, en ambos ambientes, logramos una producción de biomasa tal que logra niveles de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, donde se maximiza la producción de materia seca, con una proporción de hojas y tallos estable a lo largo del ciclo y valores estables de NDVI acordes a un forraje sano y denso.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Martin, S. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO. <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s.pdf>
- Araya, A., Kisekkab, I., Negussie, A., Hadgud, K. M., Foster, A. J., Habtu, S., & Guerreiro Martorano, L. (2019). Enhancing Teff (*Eragrostis tef*) production and productivity through water and nitrogen management in northern Ethiopia. En K. M. Hadgud, B. Bishaw, M. Iiyama, E. Birhane, A. Negussie, C. M. Davis, & B. Bernart (Eds.), *Climate-smart agriculture: Enhancing resilient agricultural systems, landscapes, and Livelihoods in Ethiopia and beyond* (pp. 41-56). ICRAF. <https://www.researchgate.net/publication/334720813>
- Arefaine, A., Adhanom, D., & Tekeste, N. (2020). Response of Teff (*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter) to seeding rate and methods of sowing on yield and yield attributes in a subhumid environment, northern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 2020(1), Artículo e1516790. <https://doi.org/10.1155/2020/1516790>
- Banco Mundial. (2013). *Seguro de pasturas basado en el índice NDVI para productores ganaderos en el Uruguay: Estudio de factibilidad: Informe final*. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/informe\\_final\\_estudio\\_factibilidad\\_seguro\\_ndvi\\_sequia-espanol.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/informe_final_estudio_factibilidad_seguro_ndvi_sequia-espanol.pdf)
- Bemhaja, M. (1994). Fertilización nitrogenada en sistemas ganaderos. En A. Morón & D. F. Risso (Eds.), *Nitrógeno en pasturas* (pp. 49-56). INIA. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos/compartidos/111219220807121938.pdf>
- Brescia, V., Lema, D., & Parellada, G. (1998). *El fenómeno ENSO y la agricultura pampeana: Impactos económicos en trigo, maíz, girasol y soja*. INTA.
- Carámbula, M. (1987). Producción de pasturas en Uruguay. En C. J. Molestina (Ed.), *Reunión sobre la producción y utilización de pasturas para engorde y producción de leche* (pp. 95-112). IICA. [https://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur\\_19-dialogo-xix-produccion-de-pasturas-para-engorde-y-produccion-de-leche\\_1f4.pdf](https://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur_19-dialogo-xix-produccion-de-pasturas-para-engorde-y-produccion-de-leche_1f4.pdf)
- Carámbula, M. (1993). *Cultivos forrajeros de alta eficiencia*. INIA.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol 1. Potenciales alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2003). *Pasturas y forrajes: Vol 2. Insumos, implantación y manejo de pasturas*. Hemisferio Sur.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez Yáñez, J. M., Farías Rodríguez, R., & Peña Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>

- Castaño, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., & Aunchayna, R. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980 - 2009*. INIA.
- Castaño, J. P., Giménez, A., & Olivera, L. (2007). Monitoreo del estado de pasturas naturales en Uruguay en base a imágenes satelitales y a un modelo de balance hídrico del suelo. En J. Rocha, M. Massart, T. Nègre, & O. Léo (Eds.), *The second international workshop on crop monitoring and forecasting in South America* (pp. 19-24). European Communities.
- Chanyalew, S., Ferede, S., Damte, T., Fikre, T., Genet, Y., Kebede, W., Tolossa, K., Tadele, Z., & Assefa, K. (2019). Significance and prospects of an orphan crop tef. *Planta*, 250(3), 753-767. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03209-z>
- Chuvienco, E., Aguado, I., Cocero, D., Riaño, D., & Vaughan, P. (Coords.). (1999). *Estimation of fuel moisture content: Methods based on meteorological data and remote sensing images*. European Commission.
- Clariget, J., Perez, E., & La Manna, A. (2015). Alternativas estivales para una mayor ganancia diaria de peso en invernada intensiva bovina. *Revista INIA*, (43), 12-16.
- Durán, A., & García Préchac, F. (2007). *Suelos del Uruguay: Origen, clasificación, manejo y conservación* (Vol. 1). Hemisferio Sur.
- Durán Bautista, E. H., Ángel Sánchez, Y. K., & Suárez Salazar, J. C. (2015). Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con *Hevea brasiliensis* en el norte de la Amazonia Colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 365-372.
- Errecart, P. M., Agnusdei, M. G., Lattanzi, F. A., & Marino, M. A. (2012). Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research*, 129, 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.008>
- Escobedo, M., Durón, S., García, J., García, V., & González, A. (2020). Radiación fotosintéticamente activa. *Revista Memoria Universitaria*, 2(2), 190-201.
- Formoso, F. A., & Allegri, M. A. (1980). *Leguminosas en la región noreste*. CIAAB.
- García, C. (2010). Estrategias para la incorporación del riego en sistemas de producción extensivos. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas* (pp. 135-140).
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 789-799. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>
- Giorello, D., Jaurena, M., Boggiano, P., & Pérez Gomar, E. (2012). Respuesta al riego suplementario en pasturas y forrajes. En Grupo de Desarrollo de Riego (Ed.), *Riego en cultivos y pasturas: 2º Seminario Internacional* (pp. 45-54). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11845/1/Giorello-D.-2012.pdf>
- Habte, E., Muktar, M. S., Negawo, A. T., Lee, S.-H., Lee, K.-W., & Jones, C. S.

- (2019). An overview of Teff (*Eragrostis teff* Zuccagni) trotter as a potential summer forage crop in temperate systems. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*, 39(3), 185-188.  
<https://doi.org/10.5333/KGFS.2019.39.3.185>
- Harold Brown, R. (1999). Agronomic Implications of C4 Photosynthesis. En R. F. Sage & R. K. Monson (Eds.), *C4 Plant Biology* (pp. 473-507). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-012614440-6/50015-X>
- Hunter, M., Barney, P., Kilcer, T., Cherney, J., Lawrence, J., & Ketterings, Q. (2007). Teff as emergency forage. *Agronomy Fact Sheet Series*, 24, 1-2.  
<http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet24.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2024a). *Clima* [Conjunto de datos]. <http://www.inia.uy/gras/Clima>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2024b). *Monitoreo NDVI* [Conjunto de datos]. <http://inia.uy/gras/Monitoreo-Ambiental/Monitoreo-de-la-vegetación>
- Juárez-Hernández, J., & Bolaños-Aguilar, E. D. (2007). Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*, 23(1), 81-90.
- Ketema, S. (1997). *Tef Eragrostis tef (Zucc.) trotter*. IPGRI.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ITJ-8cktv4C&oi=fnd&pg=PA3&dq=eragrostis+teff&ots=G4rYH2mJdy&sig=RnfZx6YF1BTmbo9d7zwAaAzKIU0#v=onepage&q&f=true>
- Labarthe, F. S., & Pelta, H. R. (2009). *Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas*. INTA.  
[https://produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_megatermicas/143-caracteristicas\\_forrajeras\\_megatermicas.pdf](https://produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/143-caracteristicas_forrajeras_megatermicas.pdf)
- Laureano, M. (2021). Teff (*Eragrostis Tef*), una alternativa para primavera/verão. *Ruminantes*, (44), 36-37.  
[https://issuu.com/ruminantes/docs/book\\_44-ld/36](https://issuu.com/ruminantes/docs/book_44-ld/36)
- Liendo, M. E., Gonzales-Coletti, A., Olea, L., Alegre, A., Suárez, L., Guerineau, M., & Martin, G. (2019). Relación hoja-tallo en el estado fenológico de floración, en gramíneas naturales y cultivadas del Chaco Occidental Semiárido del departamento Trancas, Tucumán, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 39(1), 45-51.
- Long, S. P. (1999). Ecology of C4 Photosynthesis: Environmental responses. En R. F. Sage & R. K. Monson (Eds.), *C4 Plant Biology* (pp. 215-242). Elsevier.
- López, L., Torrecillas, M. G., Borlandelli, M. S., & Alonso, D. O. (2022). Rendimiento y calidad de Teff grass en respuesta a diferentes estrategias de fertilización. *Revista Científica y Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental*, 9(3), 61-73.
- Mangdado Urdániz, J. (2017). Forrajes exóticos. *Navarra Agraria*, (222), 31-38.
- Medina, E., Bifano, T. D. E., & Delgado, Y. M. (1976). Diferenciación fotosintética en plantas superiores. *Interciencia*, 1(2), 96-104.

- Mihretie, F. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Tsubo, M., Masunaga, T., Meshesha, D. T., Tsuji, W., Ebabu, K., & Tassew, A. (2021). Tillage and sowing options for enhancing productivity and profitability of teff in a sub-tropical highland environment. *Field Crops Research*, 263, Artículo e10850. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108050>
- Miller, D. (2011). *Teff grass: Crop overview and forage production guide*. [https://www.north40ag.com/wp-content/uploads/2021/04/Teff\\_Crop-and-Forage-Production.pdf](https://www.north40ag.com/wp-content/uploads/2021/04/Teff_Crop-and-Forage-Production.pdf)
- Murray, F., Gallego, J., Miñón, D., & Barbarossa, R. (2010). Verdeos de verano para pastoreo o henificado: Una alternativa forrajera de rápido crecimiento. *Comunicaciones - Publicación del Valle inferior*, 20(63), 17-22. [https://produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_artificiales/159-verdeos\\_verano.pdf](https://produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_artificiales/159-verdeos_verano.pdf)
- Muzi, E., Sardiña, C., & Diez, M. (2013). *Soja y sorgo tipo sudan como recursos forrajeros estivales*. INTA.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021). *Anuario estadístico agropecuario 2021*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO ANUARIO 2021 Web.pdf>
- Olivares, B. O., & López-Beltrán, M. (2019). Índice de vegetación de diferencia normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 112-121.
- Olmos López, F. (2004). Impacto del estrés hídrico en plantas de trébol blanco (*Trifolium repens* L.). En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Clima y respuesta hídrica de pasturas en zonas ganaderas* (pp. 10-21). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12803/1/sad364p10-21-2.pdf>
- Perrachón, J. (2010). Verdeos de verano: Un seguro para épocas difíciles. *Revista Plan Agropecuario*, (135), 61-65.
- Perrachón, J. (2011). *Siembra y manejo de verdeos*. IPA. [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/filemanager/source/2021/Libros/pdf/Siembra\\_y\\_manejo\\_de\\_verdeos.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/filemanager/source/2021/Libros/pdf/Siembra_y_manejo_de_verdeos.pdf)
- Pradhan, S., Sehgal, V. K., Bandyopadhyay, K. K., Panigrahi, P., Parihar, C. M., & Jat, S. L. (2018). Radiation interception, extinction coefficient and use efficiency of wheat crop at various irrigation and nitrogen levels in a semi-arid location. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23(3), 416-425. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0400-x>
- Risso, D., Ayala, W., Bermúdez, R., Berretta, E., Gómez Miller, R., & Albicette, M. M. (2005). *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural*. INIA. [http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos\\_compartidos/15630021107142110.pdf](http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos_compartidos/15630021107142110.pdf)
- Roseberg, R., Norberg, S., & Charlton, B. (2018). *Teff grass for forage: Nitrogen and irrigation requirements*. Oregon State University; University of Idaho; Washington State University. <https://extension.oregonstate.edu/catalog/pub/pnw-709-teff-grass-forage-nitrogen-irrigation-requirements>

- Ross, F., & Lopez de Sabando, M. (2016). *Diagnóstico de nitrógeno en cebada y trigo: NDVI y cobertura*. INTA.  
[https://www.researchgate.net/publication/352903460\\_Ross\\_F\\_y\\_Lopez\\_de\\_Sabando\\_2016\\_Diagnostico\\_de\\_Nitrogeno\\_en\\_Cebada\\_y\\_Trigo\\_NDVI\\_y\\_COBERTURA\\_INTA](https://www.researchgate.net/publication/352903460_Ross_F_y_Lopez_de_Sabando_2016_Diagnostico_de_Nitrogeno_en_Cebada_y_Trigo_NDVI_y_COBERTURA_INTA)
- Umaña, J., Restrepo, L. I., Lopera, S. M., & Gallardo, C. (2012). Caracterización de harina de tef (*Eragrostis tef*), materia prima alternativa para panificados libres de gluten. *Vitae*, 19(1), 228-230.
- Urbano, D. (1997). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tres gramíneas tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 14, 129-139. [https://www.revfacagronluz.org.ve/v14\\_1/v141z011.html](https://www.revfacagronluz.org.ve/v14_1/v141z011.html)
- Valle Verde. (s.f.). *Teff grass NILE*. <https://valleverde.uy/catalogo/teff-nile/teff-grass-nile/>
- Van Soest, P. (2014). Evaluación de forrajes y calidad de los alimentos para rumiantes. *Departamento de Ciencia Animal*, 1(2), 85-108.  
[http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse2/minisite/pdf/Calidad\\_de\\_Alimentos\\_para\\_Rumiantes/articulo\\_Van\\_Soest.pdf](http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse2/minisite/pdf/Calidad_de_Alimentos_para_Rumiantes/articulo_Van_Soest.pdf)
- Wolfe, D. W., Henderson, D. W., Hsiao, T. C., & Alvino, A. (1988). Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal*, 80(6), 865-870. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000060005x>

## 9 ANEXOS

### ANEXO A. ANALISIS ESTADISTICO

Kilogramos de Materia Seca por Unidad de Superficie

**Tabla A1**

*Medidas resumen kg ms/ha bajo riego*

Dosis	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
0	Kg MS/ha	20	201,70	104,14	85,00	450,00	166,50	140,00	240,00
50	Kg MS/ha	20	311,30	159,19	147,00	693,00	262,50	176,00	370,00
100	Kg MS/ha	20	348,75	143,38	127,00	746,00	345,00	234,00	417,00
200	Kg MS/ha	20	337,05	107,62	160,00	551,00	310,00	255,00	388,00
300	Kg MS/ha	20	403,35	196,41	163,00	834,00	324,00	244,00	499,00
500	Kg MS/ha	20	356,05	112,15	162,00	564,00	349,00	278,00	421,00

**Tabla A2**

*Anava y Tukey para kg ms/ha bajo riego*

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Kg MS/ha	120	0,17	0,13	43,24

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	463829,27	5	92765,85	4,66	0,0007
Dosis	463829,27	5	92765,85	4,66	0,0007
Error	2270144,60	114	19913,55		
Total	2733973,87	119			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=129,35675

Error: 19913,5491 gl: 114

Dosis	Medias	n	E.E.	
300	403,35	20	31,55	A
500	356,05	20	31,55	A
100	348,75	20	31,55	A
200	337,05	20	31,55	A
50	311,30	20	31,55	A B
0	201,70	20	31,55	B

**Tabla A3**

*Medidas resumen kg ms/ha en secano*

Dosis	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
0	Kg MS ha	20	154,85	79,29	48,00	401,00	140,00	100,00	175,00
50	Kg MS ha	20	252,45	88,27	110,00	446,00	254,50	179,00	293,00
100	Kg MS ha	20	259,15	105,58	135,00	441,00	215,50	168,00	359,00
200	Kg MS ha	20	302,70	100,52	155,00	538,00	267,00	220,00	378,00
300	Kg MS ha	20	310,00	107,60	77,00	555,00	315,00	265,00	350,00
500	Kg MS ha	20	250,65	105,74	119,00	478,00	216,50	177,00	270,00

**Tabla A4***Anava y Tukey para kg ms/ha en seco*

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Kg MS ha	120	0,22	0,18	38,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	307459,07	5	61491,81	6,35	<0,0001
Dosis	307459,07	5	61491,81	6,35	<0,0001
Error	1103652,80	114	9681,16		
Total	1411111,87	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=90,19419  
 Error: 9681,1649 gl: 114  
 Dosis Medias n E.E.

Dosis	Medias	n	E.E.
300	310,00	20	22,00 A
200	302,70	20	22,00 A
100	259,15	20	22,00 A
50	252,45	20	22,00 A
500	250,65	20	22,00 A
0	154,85	20	22,00 B

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

**Tabla A5***Medidas resumen NDVI bajo riego*

Dosis	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
0	NDVI	28	0,56	0,18	0,23	0,79	0,62	0,41	0,68
50	NDVI	28	0,64	0,20	0,21	0,82	0,73	0,50	0,79
100	NDVI	28	0,65	0,20	0,23	0,85	0,74	0,49	0,80
200	NDVI	28	0,66	0,20	0,24	0,85	0,75	0,42	0,79
300	NDVI	28	0,65	0,21	0,20	0,84	0,75	0,48	0,80
500	NDVI	28	0,66	0,21	0,22	0,87	0,75	0,48	0,79

**Tabla A6***Anava y Tukey para NDVI bajo riego***Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NDVI	168	0,03	1,7E-03	31,71

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	5	0,04	1,06	0,3861
Dosis	0,21	5	0,04	1,06	0,3861
Error	6,56	162	0,04		
Total	6,78	167			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15358**

Error: 0,0405 gl: 162

Dosis	Medias	n	E.E.	
500	0,66	28	0,04	A
200	0,66	28	0,04	A
300	0,65	28	0,04	A
100	0,65	28	0,04	A
50	0,64	28	0,04	A
0	0,56	28	0,04	A

**Tabla A7***Medidas resumen NDVI en secano*

Dosis	Variable	n	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana	Q1	Q3
0	NDVI	28	0,55	0,15	0,21	0,77	0,61	0,46	0,64
50	NDVI	28	0,60	0,17	0,24	0,78	0,66	0,53	0,71
100	NDVI	28	0,64	0,19	0,20	0,82	0,72	0,55	0,76
200	NDVI	28	0,64	0,20	0,23	0,82	0,73	0,54	0,79
300	NDVI	28	0,64	0,21	0,17	0,83	0,74	0,53	0,79
500	NDVI	28	0,64	0,20	0,24	0,83	0,72	0,48	0,76



**Tabla A8***Anava y Tukey para NDVI en seco***Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NDVI	168	0,04	0,01	30,31

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	5	0,04	1,20	0,3092
Dosis	0,21	5	0,04	1,20	0,3092
Error	5,66	162	0,03		
Total	5,87	167			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14262

Error: 0,0349 gl: 162

Dosis	Medias	n	E.E.
200	0,64	28	0,04 A
300	0,64	28	0,04 A
500	0,64	28	0,04 A
100	0,64	28	0,04 A
50	0,60	28	0,04 A
0	0,55	28	0,04 A

## Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada

**Tabla A9***Anava y Tukey PAR interceptada bajo riego***Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PAR Inter	144	0,18	0,15	27,43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12899,40	5	2579,88	6,20	<0,0001
Dosis	12899,40	5	2579,88	6,20	<0,0001
Error	57407,54	138	416,00		
Total	70306,94	143			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=16,81119

Error: 415,9967 gl: 138

Dosis	Medias	n	E.E.
200	80,46	24	4,16 A
300	79,54	24	4,16 A
500	79,13	24	4,16 A
50	77,17	24	4,16 A
100	76,42	24	4,16 A
0	53,42	24	4,16 B

**Tabla A10***Anava y Tukey PAR interceptada en seco*

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PAR Inter	144	0,11	0,07	32,76

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8272,53	5	1654,51	3,27	0,0080
Dosis	8272,53	5	1654,51	3,27	0,0080
Error	69731,46	138	505,30		
Total	78003,99	143			

## Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,52799

Error: 505,3004 gl: 138

Dosis	Medias	n	E.E.	
300	74,50	24	4,59	A
500	74,17	24	4,59	A
100	72,17	24	4,59	A
200	70,96	24	4,59	A B
50	67,42	24	4,59	A B
0	52,50	24	4,59	B

Composición Botánica (Relación hoja/tallo).

**Tabla A11***Anava y Tukey relación hoja/tallo bajo riego*

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Hoja/Tallo	120	0,03	0,00	47,13

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	5	0,06	0,72	0,6120
Dosis	0,28	5	0,06	0,72	0,6120
Error	9,03	114	0,08		
Total	9,31	119			

## Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,25800

Error: 0,0792 gl: 114

Dosis	Medias	n	E.E.	
500	0,67	20	0,06	A
200	0,63	20	0,06	A
300	0,60	20	0,06	A
100	0,59	20	0,06	A
0	0,58	20	0,06	A
50	0,51	20	0,06	A

**Tabla A12***Anava y Tukey relación hoja/tallo en seco***Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Hoja/ Tallo	120	0,02	0,00	46,91

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,16	5	0,03	0,41	0,8381
Dosis	0,16	5	0,03	0,41	0,8381
Error	9,08	114	0,08		
Total	9,25	119			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,25872**

Error: 0,0797 gl: 114

Dosis Medias n E.E.

300	0,65	20	0,06	A
200	0,64	20	0,06	A
500	0,61	20	0,06	A
50	0,58	20	0,06	A
0	0,58	20	0,06	A

Concentración de Clorofila (SPAD)

**Tabla A13***Anava y Tukey para SPAD bajo riego***Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SPAD	120	0,10	0,06	33,13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1074,44	5	214,89	2,62	0,0279
Dosis	1074,44	5	214,89	2,62	0,0279
Error	9352,55	114	82,04		
Total	10426,99	119			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8,30285**

Error: 82,0399 gl: 114

Dosis Medias n E.E.

300	30,50	20	2,03	A
200	29,00	20	2,03	A B
100	28,80	20	2,03	A B
500	28,50	20	2,03	A B
50	25,85	20	2,03	A B
0	21,40	20	2,03	B

## Tabla A14

### Anava y Tukey para SPAD en seco

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SPAD	120	0,06	0,02	37,26

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	654,40	5	130,88	1,44	0,2137
Dosis	654,40	5	130,88	1,44	0,2137
Error	10329,30	114	90,61		
Total	10983,70	119			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,72565

Error: 90,6079 gl: 114

Dosis	Medias	n	E.E.	
500	28,30	20	2,13	A
300	28,10	20	2,13	A
200	25,95	20	2,13	A
100	25,20	20	2,13	A
50	24,30	20	2,13	A
0	21,45	20	2,13	A

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

## ANEXO B. IMAGENES DE MATERIALES Y PROCESOS

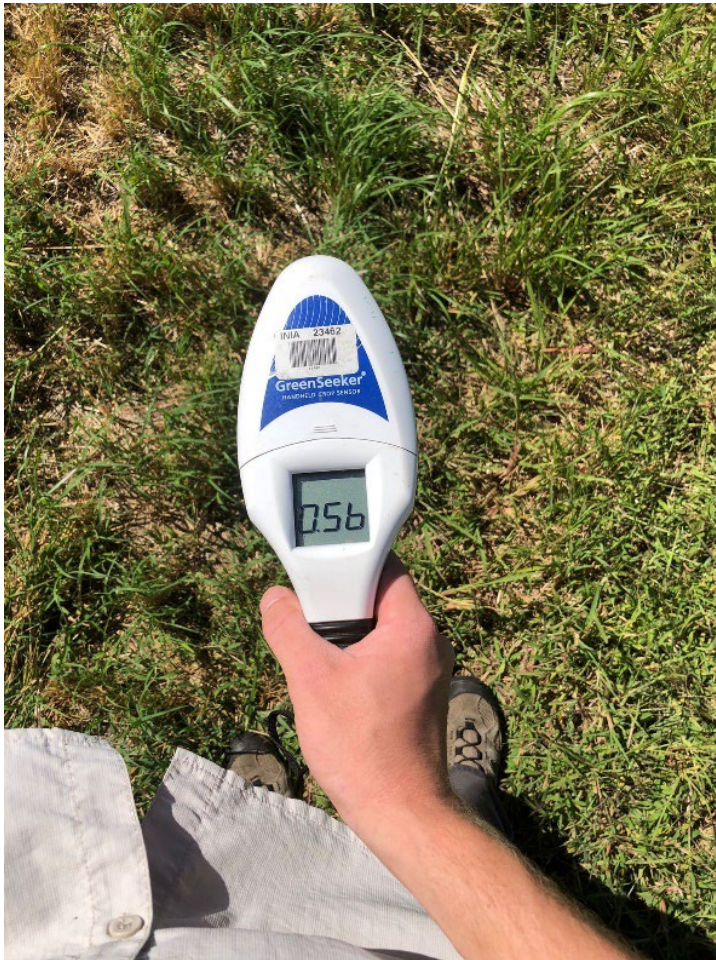
**Figura B1**

*Herramienta utilizada para medir la humedad del suelo*



**Figura B2**

*Greenseeker, herramienta para medir NDVI*



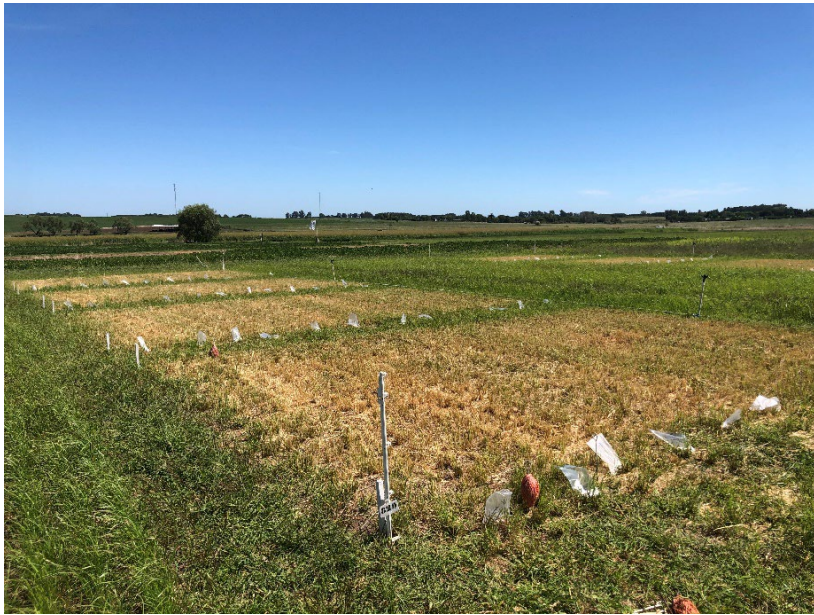
**Figura B3**

*Accupar LP- 80, herramienta para medir PAR*



**Figura B4**

*Fertilización nitrogenada, aplicación de los tratamientos*

**Figura B5**

*Eragrostis teff previo a corte para estimación de materia seca*





**Figura B6**

*Corte realizado para estimación de materia seca*

**Figura B7**

*Hojas y tallos separados previo a la estufa*

