

**UNIVERSIDAD DE MAGALLANES**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Escuela de Ciencia y Tecnología en Recursos Acuícolas y Agrícola**



**Efecto de la fertilización con azufre sobre *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa*  
y *Poa flabellata* creciendo en dos suelos bajo ambiente controlado**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Debora Alarcón Martínez**

**Profesor guía: Dr. Sergio Radic Schilling**

**Punta Arenas, Chile**

**2015**

## INDICE

| CAPÍTULO |   | PÁGINA |
|----------|---|--------|
|          | RESUMEN   | 1      |
|          | SUMMARY   | 2      |
| 1        | INTRODUCCION  | 3      |
| 2        | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA                                | 5      |
| 2.1      | Descripción de las especies utilizadas                | 5      |
| 2.1.1    | Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )                    | 5      |
| 2.1.2    | Poa ( <i>Poa flabellata</i> )                         | 5      |
| 2.1.3    | Pasto ovinillo ( <i>Dactylis glomerata L.</i> )       | 6      |
| 2.2      | Comunidades vegetacionales de la Región de Magallanes | 7      |
| 2.2.1    | Comunidad de <i>Empetrum rubrum</i>                   | 8      |
| 2.2.2    | Comunidad de <i>Festuca gracillima</i>                | 8      |
| 2.3      | Azufre y su comportamiento en los Suelos              | 9      |
| 2.3.1    | Ciclo del azufre                                      | 10     |
| 2.3.2    | Formas del azufre                                     | 11     |
| 2.3.3    | Contenido de azufre en los suelos                     | 12     |
| 2.3.4    | Fuentes del azufre                                    | 13     |
| 2.3.5    | Transformaciones del azufre                           | 15     |
| 2.3.5.1  | Mineralización  | 15     |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.3.5.2 | Inmovilización                             | 15 |
| 2.3.5.3 | Oxido – Reducción del azufre               | 16 |
| 2.4     | Interacción con otros nutrientes           | 16 |
| 2.5     | Azufre en las plantas                      | 17 |
| 2.5.1   | Funciones en las plantas                   | 19 |
| 2.5.2   | Deficiencia y toxicidad                    | 19 |
| 2.6     | Fertilizantes con contenido de azufre      | 20 |
| 2.7     | Experiencias con aplicaciones de azufre    | 22 |
| 3       | <b>MATERIALES Y METODOLOGIA</b>            | 23 |
| 3.1     | Ubicación y duración del ensayo            | 23 |
| 3.2     | Especies y sustratos utilizados            | 23 |
| 3.3     | Análisis químico de los suelos utilizados  | 23 |
| 3.4     | Materiales                                 | 24 |
| 3.5     | Germinación                                | 24 |
| 3.6     | Trasplante y tratamientos de fertilización | 25 |
| 3.7     | Riego                                      | 26 |
| 3.8     | Parámetros evaluados                       | 26 |
| 3.8.1   | Altura de plantas                          | 26 |
| 3.8.2   | Número de tallos o macollos                | 27 |
| 3.8.3   | Producción de materia seca área            | 27 |
| 3.8.4   | Largo de raíz                              | 27 |
| 3.8.5   | Producción de materia seca radical         | 27 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.8.6 | Número de nódulos                          | 27 |
| 3.8.7 | Diseño experimental y análisis estadístico | 27 |
| 4     | RESULTADOS Y DISCUSION                     | 28 |
| 4.1   | Altura de plantas                          | 28 |
| 4.2   | Número de tallos o macollos                | 31 |
| 4.3   | Producción de materia seca aérea           | 34 |
| 4.4   | Largo de raíz                              | 37 |
| 4.5   | Producción de materia seca radical         | 40 |
| 4.6   | Número de nódulos                          | 43 |
| 5     | CONCLUSIONES                               | 45 |
| 6     | BIBLIOGRAFÍA                               | 46 |
|       | ANEXOS                                     | 51 |

## INDICE DE CUADROS

| Cuadro |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Fertilizantes granulados simples de uso directo al suelo con azufre en su composición.  | 21     |
| 2      | Resultado del análisis de suelo realizado a los tres tipos de suelos.   | 24     |
| 3      | Porcentajes de germinación de pasto ovilla y alfalfa.   | 25     |
| 4      | Tratamientos realizados indicando la cantidad (gramos de fertilizante/ macetero) y tipo de fertilizante utilizado.  | 26     |
| 5      | Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> ) para <i>Dactylis glomerata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtila). | 29     |
| 6      | Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> ) para <i>Poa flabellata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtila).     | 29     |
| 7      | Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtila).    | 30     |
| 8      | Número de macollos de <i>Dactylis glomerata</i> según dosis de azufre aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> ) según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtila).      | 31     |
| 9      | Número de macollos según dosis de azufre aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> ) para <i>Poa flabellata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtila).        | 32     |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 10 | Número de tallos según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).                               | 33 |
| 11 | Producción de materia seca área (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Dactylis glomerata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).    | 34 |
| 12 | Producción de materia seca área (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Poa flabellata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).        | 35 |
| 13 | Producción de materia seca área (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).       | 36 |
| 14 | Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Dactylis glomerata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).                          | 37 |
| 15 | Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Poa flabellata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).                              | 38 |
| 16 | Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).                             | 38 |
| 17 | Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Dactylis glomerata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla). | 40 |
| 18 | Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Poa flabellata</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).     | 41 |
| 19 | Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).    | 42 |
| 20 | Número de nódulos según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para <i>Medicago sativa</i> según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).                              | 43 |

**INDICE DE FIGURAS**

| <b>Figura</b> |                  | <b>Página</b> |
|---------------|------------------|---------------|
| 1             | Ciclo del Azufre | 11            |

## INDICE DE ANEXOS

| <b>Anexos</b> | <b>Pagina</b>  |
|---------------|--|
| 1             | Plantas de la especie <i>Dactylis glomerata</i> , indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha <sup>-1</sup> respectivamente), en los dos tipos de suelos evaluados murtila (A) y coirón (B). 52   |
| 2             | Las imágenes corresponden a la especie <i>Medicago sativa</i> en los dos tipos de suelos evaluados; murtila (A) y coirón (B), indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha <sup>-1</sup> respectivamente). 53  |
| 3             | Las imágenes corresponden a la especie <i>Poa flabellata</i> , indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha <sup>-1</sup> respectivamente). La imagen A corresponde al suelo de murtila ( <i>E. rubrum</i> ) y la imagen B al suelo de coirón ( <i>F. gracillima</i> ). 54 |
| 4             | Temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) diarias (promedio, máxima y mínima registradas) durante el desarrollo del estudio desde el 16-10-2014 al 19-11-2014. 55   |
| 5             | Temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) diarias (promedio, máxima y mínima registradas) durante el desarrollo del estudio desde el 18-11-2014 al 15-12-2014. 56   |



## RESUMEN

Las distintas características que se presentan en las praderas, las cuales están determinadas, en parte, por las condiciones climáticas de la región tales como la pluviometría, temperatura y la humedad condicionan la producción de las distintas especies nativas presentes como también en las especies cultivadas. Es por ello que la relación que existe entre los distintos macro y micro nutrientes en las praderas, genera que cada uno sea un limitante en la deficiencia de otro. En el caso del azufre, es un elemento esencial en la formación de proteínas y coenzimas en las plantas. La planta siempre mantiene proporciones adecuadas tanto de sulfato como de nitrato para la síntesis de proteínas. El efecto que provoca la deficiencia de azufre en la Región, influye mucho en cómo será la respuesta de las distintas fertilizaciones, especialmente la nitrogenada.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta a distintas dosis de fertilización de azufre en plantas de *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* y *Poa flabellata*, en dos tipos de suelo y bajo un ambiente controlado. La duración del ensayo fue de 60 días y se midieron distintos parámetros morfológicos y de producción de las tres especies creciendo en dos tipos de suelos, los cuales fueron obtenidos bajo las comunidades de *Empetrum rubrum* y *Festuca gracillima*. Se preparó maceteros con una proporción 1:1 de turba y suelo para cada especie, se fertilizaron con superfosfato triple, muriato de potasio, urea y yeso y se organizaron en bloques al azar de 5 tratamientos; 0 tratamiento control (sin fertilizante), 10, 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup>. Cada tratamiento tenía cuatro repeticiones y en el caso del pasto oவில் se eliminó un tratamiento (T10) y una repetición (R4) dado el bajo porcentaje de germinación inicial de esta especie.

Los resultados del estudio muestran que la aplicación de dosis entre 10 a 20 kg de S ha<sup>-1</sup> resulta en una mayor producción de materia seca de las especies evaluadas en los dos tipos de suelos utilizados; murtilla y coirón. En todos los parámetros evaluados, el suelo de coirón siempre presentó mejores resultados promedios para las especies de alfalfa y *Poa flabellata*.

## SUMMARY

It is well known that in grasslands dried matter production is affected by climate conditions such as rainfalls, temperature and humidity, determine the production of the different native species and also in the cultivated species. That is why the relationship between the various macro and micro nutrients in the grasslands, each generates a limiting deficiency in another. For this case sulfur is an essential element in the formation of proteins and coenzymes in plants. The plant always maintains suitable proportions both for nitrate and sulfate for protein synthesis. The effect that the sulphur deficiency produces in the region influences in the response of the different fertilizations, especially the nitrogen.

For this case study the effect caused by sulfur deficiency in the region greatly influences the response of the various fertilizations, especially nitrogen fertilization.

Therefore this experiment it was carried out to evaluate the response to different doses of sulfur fertilization in *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* and *Poa flabellata* under a controlled environment for 60 days. In the survey different morphological and production parameters were measured of the three species grown on two soil types, *Empetrum rubrum* and *Festuca gracillima*. Planters was prepared with a 1: 1 proportion of peat and soil for each species, they were fertilized with triple superphosphate, muriate of potassium, urea and gypsum and organized in random blocks of 5 treatments; 0 control treatment (no fertilizer), 10, 20, 40 and 80 kg S ha<sup>-1</sup>. Each treatment had four replications and in the case of orchard grass treatment (T10) and a repeat (R4) was removed given the low percentage of germination, with a total of 104 pots.

The study results showed that the application of doses between 10 - 20 kg S ha<sup>-1</sup> results in a higher dry matter production of species studied in the soil types used; murtilla and coirón.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Región de Magallanes y Antártica Chilena, las praderas presentan una serie de características edáficas que son determinadas principalmente por la pluviometría y geomorfología entre estas, destaca la deficiencia de nutrientes.

La relación que se presenta entre los distintos macro y micro nutrientes en las praderas, genera que cada uno sea un limitante en la deficiencia de otro. Entre estos elementos se presentan principalmente fósforo, potasio, calcio, nitrógeno y el azufre. El efecto que provoca la deficiencia de azufre en la Región influye mucho en cómo será la respuesta de las distintas fertilizaciones, especialmente la nitrogenada, en el crecimiento y desarrollo de las praderas.

En el presente estudio se evalúa el comportamiento de tres especies forrajeras con distintas dosis de azufre y desarrollándose sobre dos diferentes tipos de suelo. Con especies características de la región de Magallanes, como la alfalfa y el pasto ovillo, pero además, con una especie nativa, la *Poa flabellata*. Entre las distintas características que presentan estas especies destacan su palatabilidad, alto contenido de materia seca, calidad nutritiva, entre otras.

Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo es; evaluar la respuesta a distintas dosis de fertilización de azufre en plantas de *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* y *Poa flabellata*, en dos tipos de suelos bajo un ambiente controlado.

Teniendo en cuenta el objetivo general antes mencionado, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la fertilización con azufre en parámetros morfológicos y de producción de la parte aérea de las diferentes especies evaluadas.
- Evaluar el desarrollo radical de las especies bajo las diferentes aplicaciones de azufre.
- Evaluar el efecto del tipo de suelo sobre parámetros morfológicos y de producción de materia seca de las especies evaluadas.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Descripción de especies utilizadas

A continuación se describen las distintas características presentes en las tres especies utilizadas en el ensayo.

**2.1.1. Alfalfa (*Medicago sativa L.*).** La alfalfa es una planta herbácea de la familia de las leguminosas, perenne, con numerosos tallos de crecimiento erecto o inclinado, ramosos, que alcanzan hasta 1,50 m de altura. Hojas alternadas, ubicadas en los extremos de los peciolos cortos, flores papilionadas de color violeta o purpura, situadas en racimos cortos. Vainas dehiscentes, con varias semillas de color amarillo semejante a un poroto, 400 – 700 mil por kilogramo. Su sistema radical consiste en una raíz pivotante, robusta, la cual puede tener varias ramificaciones laterales. En la mayoría de los suelos la raíz alcanza entre 60 a 90 cm de longitud, pero en suelos profundos, bien drenados, puede alcanzar 7 y más metros. Sus raíces y raicillas ubicadas en los primeros 30 cm de suelo, son encargadas de absorber los elementos nutritivos movilizados por el agua que estén a su alcance (Águila, 1992).

La alfalfa constituye una significativa parte de las praderas de alta calidad forrajera también es una planta clave en los sistemas agrícolas mixtos, donde se utiliza para mejorar los rendimientos y contenido de proteínas de los granos, en virtud de su alta capacidad de fijación de nitrógeno (Grewal, 2010).

**2.1.2. Poa (*Poa flabellata*).** *Poa flabellata* (o Tussac grass en Inglés) es un pasto o tipo de hierba de invierno que se desarrolla en Tierra del Fuego, Isla Diego Ramírez, las islas Falklands, Isla Gough y la islas Georgia del Sur,. *Poa flabellata* tiene una preferencia, en términos de crecimiento y productividad, por un suelo orgánico, con alta humedad y nutrientes, factores que prevalecen en la biótica de las costas. *Poa flabellata* tiene un crecimiento tipo coirón (*Festuca gracillima*) con muchos macollos, y rizomas ramificados. La parte aérea de la planta frecuentemente se desarrolla por sobre el suelo formando una planta madre. Esta planta está compuesta en su totalidad por raíces

muertas y decaídas, rizomas y la parte aérea de la *Poa flabellata*. La altura que puede alcanzar esta planta puede ser por sobre los 3 metros en Georgia del Sur, y alcanzar los 4 metros en las Islas Falklands. La planta madre contribuye más del 50% de la altura total de la planta (Gunn, 1976).

Crece y produce nuevas hojas durante el invierno, comienza su crecimiento antes de otros pastos introducidos y autóctonos, y lo que es aún más importante, mantiene un alto nivel de digestibilidad durante todo el año. Para un crecimiento exitoso la planta se basa en construir sus reservas y producir nuevas raíces durante todo el verano mientras que en el invierno, las hojas continúan su crecimiento utilizando estas reservas acumuladas (McAdam y Walton, 1990).

El sobrepastoreo puede fácilmente destruir una plantación de Tussac, ya que los macollos enraizados son los que presentan mayor palatabilidad (un 70% de su peso seco como azúcares) (Carter, 1988).

**2.1.3. Pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L).** Dentro de las gramíneas, esta planta es una de las más valiosas, por la calidad de su forraje, por su resistencia a las condiciones ambientales y su versatilidad de utilización. Es una planta perenne, de desarrollo vegetativo denso, de 15 – 140 cm de altura. Posee tallos erectos o ligeramente abiertos y aplanado, delgados o gruesos, con 3 a 5 nudos, ásperos o suaves. Las hojas son verdes-grisáceas, largas y dobladas en algún punto de su lámina. La inflorescencia es una panoja erecta, oblonga u ovada, con sus ramificaciones juntas que le dan aspecto de espiga, de 2 – 30 cm de longitud, verdes, purpuras o amarillentas (Águila, 1992).

Es resistente a las escarchas, calor y frío. Un pasto altamente productivo, particularmente en zonas secas ya que presenta raíces largas. Es muy utilizada en praderas mixtas, aunque necesita altas dosis de fertilización para el uso intensivo y es altamente susceptible a enfermedades. Tiene una alta palatabilidad y valor forrajero (McAdam y Olave, 2010). Ganderats (2001) la describe como una especie perenne de crecimiento erecto en variedades tempranas y postradas en variedades más tardías. Se caracteriza por la tendencia a la formación de champas (sin estolones), y por la formación plana del tallo en la base. Es una planta que se adapta al déficit hídrico prolongado (2 – 4 meses) y heladas invernales. Prospera en climas más templados a fríos (10 – 17°C), con precipitaciones de 1.000 mm promedio, y en suelos de pH entre 5 – 8, siendo su óptimo entre 6 – 7.

Es una planta adaptada a suelos de fertilidad alta y media que no sean muy ácidos ni húmedos. Es una planta que tiene gran utilidad en praderas mixtas de corte y pastoreo (Muslera y Ratera, 1991).

## **2.2. Comunidades vegetales de la Región de Magallanes**

Distintos autores han clasificado las comunidades vegetales de la región, según distintos tipos de criterios. Pisano (1977) las divide en cuatro provincias bióticas: la estepa Patagónica, bosque Magallánico deceduo, matorrales pre andino y desiertos Andinos.

Mientras que Gajardo (1985) las clasifica en un sistema mucho más básico que corresponde a las siguientes formaciones

- a) Regiones de los Bosques Andino-patagónicos. Subregión de las Cordilleras Patagónicas. Formación Bosque Caducifolio de Magallanes.
- b) Región de los Matorrales y Estepas Patagónicas. Formación Estepa Patagónica de Magallanes.

El área de uso agropecuario de la Región de Magallanes se ha dividido en tres grandes regiones naturales o ecológicas; la zona de Estepa, zona de Matorrales o Intermedia y la zona del Bosque deceduo. Sin embargo es posible advertir dentro de cada una de ellas, grandes zonas con características particulares determinadas por condiciones más localizadas de microclima, fisiografía, vegetación, uso ganadero, entre otras (Lara y Cruz, 1987).

Según Lara y Cruz (1987) la cantidad de hectáreas cubiertas por el tipo de vegetación de las comunidades de *E. rubrum* y *F. gracillima* (murtilla – coirón) son de 340.135 hectáreas aproximadamente que corresponden a un 9,6% del total de las formaciones vegetacionales de los terrenos de pastoreo en la región. Esta comunidad es muy importante en la Provincia de Magallanes, la cual está compuesta principalmente por el arbusto enano, *E. rubrum*, cuya cobertura oscila entre los 25% - 75%, y un estrata herbácea rala constituida principalmente por *F. gracillima*, además, de las especies herbáceas propias de la pradera de *F. gracillima*.

**2.2.1 Comunidad de *Empetrum rubrum*.** En las zonas de Estepa y de Matorrales, existen grandes áreas dominadas por el arbusto rastrero *Empetrum rubrum*, que localmente se denominan “Murtillares”. Corresponde a un matorral rastrero, el tapiz herbáceo es muy ralo y a menudo discontinuo. En la región son aproximadamente 270.000 hectáreas las cuales están cubiertas por murtilla (Lara y Cruz, 1987). Es un pequeño arbusto siempre verde con bayas rojas que alcanzan entre los 10 – 50 cm de altura (Liddle, 2007). Florece desde septiembre a octubre y sus hojas son alternadas, simples, ovaladas y resinosas. Los tallos y las raíces son leñosas y largas ramas enraizadas se pueden encontrar en la vegetación. Crece en suelos secos, orgánicos y turbas. Es abundante y dominante en suelos bien drenados (McAdam y Olave, 2010). SAG (2004) establece que *Empetrum rubrum* es una de las comunidades vegetales de mayor superficie en el área de uso agropecuario de la región de Magallanes.

La descripción de la subregión en la cual se desarrolla este brezal, son terrenos mesetiformes ondulados, entre los 200 – 300 m.s.n.m en la provincia de Tierra del Fuego y en la de Magallanes. El suelo desnudo está por sobre el 60%. El régimen climático bajo el cual se desarrolla esta subregión, referido principalmente a los fuertes vientos, la ubican como de alta susceptibilidad a la erosión (Lara y Cruz, 1987).

La presencia masiva de *E. rubrum* es atribuida a la respuesta de la vegetación a condiciones edáficas locales de acidez y aridez. Pisano (1977) señala que *E. rubrum* produce una fitotoxina que inhibe el desarrollo de la vegetación circundante; de ahí los bajos valores de cobertura y desarrollo del estrato herbáceo en las zonas dominadas por este arbusto rastrero. También se postula que la presencia de *E. rubrum* está asociado a las condiciones de sobrepastoreo y degradación de la pradera de *F. gracillima* (Lara y Cruz, 1987). Tiene un bajo valor forrajero y con muy baja palatabilidad (McAdam y Olave, 2010).

**2.2.2 Comunidad de *Festuca gracillima*.** En las praderas de los sectores de estepa, se agrupan dos tipos de coironales: planos y ondulados cuya principal característica de estas “champas” es que están integradas principalmente de *Festuca gracillima* y algunas especies del genero *Poa*. La especie *F. gracillima* crece en toda la estepa patagónica, en lugares más bien áridos, combinada con matorrales y arbustos rastreros (Uribe, 2004).

Es una planta perenne con cañas fértiles de 30 – 80 cm de altura, con bastantes macollos estériles que forman matas grandes o “champas” verdes y brillantes, amarillentas cuando están secas; de hojas angostas, lámina enrollada y puntiaguda. La inflorescencia es una panoja erecta algo contraída, verde – amarillenta, con cuatro



espiguillas verdosas a veces con tinte rojizo. Florece de noviembre a febrero. Es una de las plantas más característica de la estepa magallánica y la principal fuente de forraje en época de invierno (Uribe, 2004). SAG (2003) establece que las comunidades de coirón presentan el tipo vegetacional más típico de la región de Magallanes.

Hay una amplia asociación entre las especies de *Festuca gracillima* y *Empetrum rubrum*, en términos generales aumentan los porcentajes de participación de arbustos rastreros a medida que empeora la condición del pastizal, llegando finalmente a un cambio de sitio donde predomina el arbusto rastrero quitándole valor a las praderas (Uribe, 2004).

### **2.3. Azufre y su comportamiento en los Suelos**

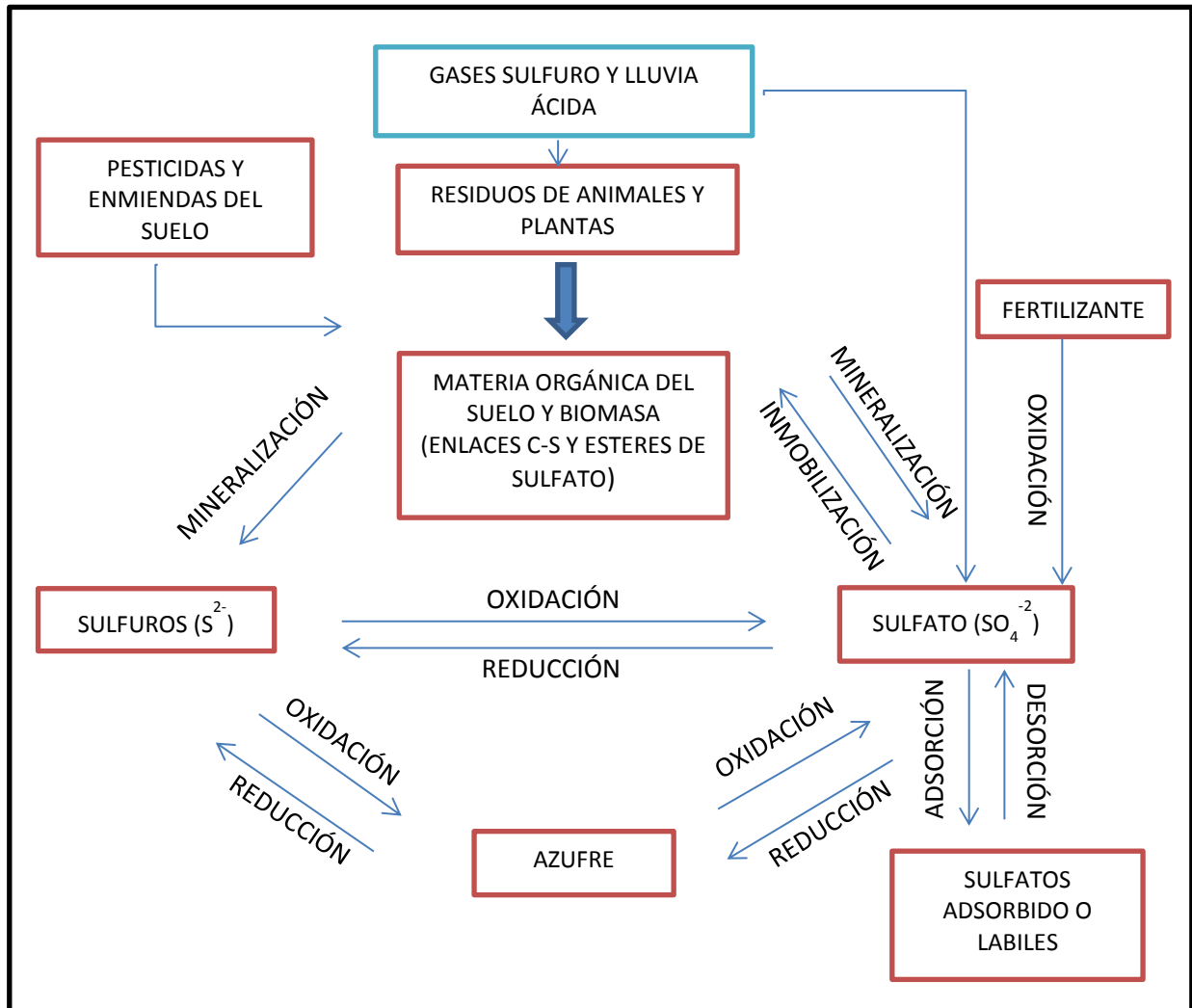
Desde hace tiempo el azufre ha sido reconocido como indispensable para varias reacciones en las células vivas. En conjunto con sus roles vitales, tanto en la nutrición de las plantas como en la de los animales, el azufre también es responsable de varios tipos de contaminación tanto de aire, agua y suelos (Brady y Weil, 2008).

La forma mineral predominante de azufre en suelos áridos es el yeso. El azufre orgánico comprende la mayoría del azufre en los suelos (>90% del total). Las proporciones de C: S y N: S de suelos minerales varia. La fracción orgánica está compuesta de 3 principales fuentes de azufre (esteres de sulfato, aminoácidos de azufre, y enlace C – S). Los esterres de sulfato es considerado más lábil que el enlace C-S y una importante fuente para de azufre para las plantas. Esterres de sulfato y el enlace C-S representó un 53% y 14% del total del azufre orgánico, respectivamente (Camberato y Pan, 2012).

Roberts y Johnston (2006) mencionan que el azufre en forma de sulfatos ( $S-SO_4^{2-}$ ) es soluble y puede moverse en el perfil del suelo, aunque en condiciones de acidez algo de  $SO_4$  puede adsorberse a los coloides del suelo. Por otra parte Sáez (1995) menciona que las deficiencias de S no son comunes en la mayoría de los suelos. Sin embargo en suelos arenosos sujetos a la precipitación permanente y con una baja capacidad de retención de aniones (fosfatos, sulfatos y boratos) la deficiencia aparece normalmente.

**2.3.1. Ciclo del azufre.** El azufre en la corteza terrestre promedia entre el 0.06 – 0.10%. La fuente original de azufre son los minerales de sulfuro de metal, que al exponerse con el ambiente,  $S^{-2}$  se oxida a  $SO_4^{-2}$ . El  $SO_4^{-2}$  es precipitado como sales soluble e insolubles de  $SO_4^{-2}$  en climas áridos y semiáridos, utilizado por organismos vivos, reducido por microorganismos a  $S^{-2}$  o  $S^0$  bajo condiciones anaeróbicas, y/o transportado por una escorrentía hacia el mar. Los océanos contienen aproximadamente 2,700 ppm de  $SO_4^{-2}$ , mientras que el rango en aguas naturales va desde 0.5 – 50 ppm de  $SO_4^{-2}$  pero puede alcanzar 60.000 ppm en lagunas salinas y sedimentos. El azufre en los suelos puede presentarse de forma orgánica e inorgánica, aunque alrededor del 90% del total del S en superficies no calcáreas existe en forma de S orgánico. El azufre en solución y el adsorbido como  $SO_4^{-2}$ , están rápidamente disponible para las plantas. El ciclo del S (figura 1) tanto como el de N son similares ya que ambos presentan componentes gaseosos y su aparición en los suelos está asociado a la materia orgánica presente (Havlin *et al.*, 2005).

El ciclo del azufre en el suelo es un ciclo continuo de mineralización e inmovilización. En la etapa inicial de establecimiento de las praderas en la que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, parte de ese azufre mineral va a ser utilizado en formar las reservas orgánicas del suelo y se establece una competencia entre el suelo y las plantas por ese elemento (Muslera y Ratera, 1991).



**Figura 1. Ciclo del Azufre**

Fuente: Adaptado de Havlin *et al.* (2005) y Brady y Weil (2008).

**2.3.2. Formas del Azufre.** La atmósfera contiene una serie de compuestos de S, incluyendo dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y aerosol de sulfato, hidrogeno de azufre ( $H_2S$ ), sulfuro de carbono ( $CS_2$ ) y sulfuro dimetil  $[(CH_3)_2S]$ . Estos compuestos derivan principalmente de actividades industriales y la quema de restos fósiles, y también de recursos naturales. El  $SO_2$  y el aerosol de sulfato derivan de las actividades humanas, y contribuyen a la mayoría del S depositado en la superficie de la Tierra (Whitehead, 2000).

La distribución del azufre en el suelo de forma orgánica o inorgánica varía con factores tales como la cantidad total de materia orgánica en los suelos y el pH del suelo, el drenaje y la composición de minerales en el suelo. En los primeros 10 cm de suelo de muchas praderas, más del 90% del azufre es orgánico. El azufre orgánico deriva en parte de los residuos de plantas y residuos animales y otra parte por la asimilación de azufre inorgánico por microorganismos del suelo. En general, la cantidad de azufre orgánico presente en los suelos está relacionado con la cantidad de C y N, la proporción de C: N: S orgánico en la mayoría de las praderas es de 120: 10: 1,3. Estas proporciones varían con los factores como temperatura, humedad y el tipo de materia original del suelo (Whitehead, 2000).

**2.3.3. Contenido de azufre en los suelos.** La textura de los suelos tiene gran influencia en la presencia de azufre, así como en la disponibilidad de micro y macro nutrientes del suelo. Suelos arenosos contienen baja cantidad de S, al contener poca materia orgánica, además que se mantiene seca durante la mayor parte del año, todo esto se traduce en menos actividad microbiana para la disponibilidad de azufre. Diferentes suelos liberan distinta cantidad de  $\text{SO}_4\text{-S}$  en el proceso de mineralización. La deficiencia de azufre por lo general aparece en plantas creciendo en suelos arenosos, suelos de textura gruesa con bajo contenido de materia orgánica, especialmente si ha habido alta pluviometría y lixiviación antes o durante la época de crecimiento del cultivo (Yunas *et al.*, 2010).

Todos los suelos reciben algún aporte de azufre desde la atmósfera a través de deposiciones secas o húmedas, y otros suelos reciben aportes a través de la aplicación de fertilizantes en los suelos o restos de residuos (Whitehead, 2000).

En regiones húmedas, es común que la concentración de azufre inorgánico en el suelo sea menor, dado por la lixiviación del sulfato. Sin embargo, algo de sulfato es retenido por la adsorción de óxidos de Fe y Al y los minerales de arcilla, especialmente en suelos con pH ácidos. En conjunto con las formas inorgánicas del azufre, muchos suelos contienen gran cantidad de S orgánico y, en suelos de pastizales a largo plazo, el azufre orgánico puede constituir el 90% del total. Aunque la mayoría del azufre orgánico proviene del desgaste de rocas, otro resulta de la asimilación de agregados en fertilizantes o atmosférico (Whitehead, 2000).

La región de Magallanes presenta gran similitud con la región de Aysén, comparten características geográficas, climáticas, de interacción y contenido de nutrientes en los suelos (Hepp, 2001). En la XI región los suelos del sector intermedio poseen severas

limitaciones nutricionales de P y S, que al corregirlas mediante fertilización, pueden aumentar varias veces la producción de forraje. En esta zona las deficiencias de P se pueden corregir en corto tiempo, ya que estos suelos, a diferencia de los trumaos, tienen baja capacidad de retención de fosfatos. Por otra parte, el S es vital como fertilizante para restituir las diferencias de este elemento que son prácticamente generalizadas en la zona más productiva. Las condiciones de suelo y de clima proveen escaso S disponible al inicio del periodo de crecimiento, por lo tanto, para aprovechar la corta estación de crecimiento es necesario efectuar permanentes aplicaciones de este elemento. En la zona de coironales, tanto en la XI como en la XII región existen severas deficiencias nutricionales de N, P y S (Ruz y Campillo, 1996).

Las respuestas que presentan los distintos tipos de suelos en la región de Aysén, ante fertilizantes que contienen azufre, son bastante significativas. Suelos como los mallines mejorados (aplicación de 50-60 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante azufrado) (Contreras, 2004) y praderas naturalizadas, entre otros, aumentan su capacidad productiva, valor nutritivo, rendimiento y composición botánica de una pradera (Ganderats, 2001).

Según estudios en la zona austral de Chile las bajas temperaturas de la zona pueden influir para disminuir la velocidad de oxidación del azufre en formas aprovechables para las plantas, especialmente el sulfato (Schenkel, 1974). En suelos con niveles muy bajos de S (0 – 4 ppm) la dosis de corrección debe ser 40 kg de S ha<sup>-1</sup>, y en los suelos con niveles medios (4 – 8 ppm) la dosis debe ser 20 kg de S ha<sup>-1</sup>. Finalmente en los suelos con niveles medios o altos debe aplicarse una dosis de mantención de 10 kg de S ha<sup>-1</sup>. En los suelos con niveles superior a 12 ppm la fertilización azufrada puede no considerarse (Sáez, 1995).

**2.3.4. Fuentes de Azufre.** Las principales fuentes de azufre terrestres son los volcanes y algunas rocas; los reservorios marinos son los sedimentos oceánicos y el agua de mar. Un aporte importante de azufre a los suelos cultivables, fue la deposición de este elemento a través de las lluvias ácidas que se generaban por la acumulación de gases azufrados en la atmósfera (Corrales–Maldonado *et al.*, 2014). En el ecosistema donde la mayoría del azufre tomado por las plantas es devuelto al mismo suelo, estas 3 fuentes combinadas suelen ser lo suficiente para abastecer las necesidades del crecimiento de las plantas (Brady y Weil, 2008).

El azufre atmosférico, el SO<sub>2</sub> es expulsado al aire, se oxida a SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, y es depositado en el suelo a través de las precipitaciones. Cercano al 70% de los compuestos de S en la

atmósfera están dados por procesos naturales. En algunas áreas, el  $\text{SO}_4^{2-}$  contenido en los suelos puede aumentar por la adsorción directa de  $\text{SO}_2$  y la caída de partículas secas. Las plantas absorben el  $\text{SO}_2$  por difusión hacia las hojas. Por otro lado, la exposición a  $\text{SO}_2$  en rangos por sobre 0.5 ppm pueden causar daño visible en el follaje de algunas plantas. Compuestos de azufre volátil también pueden ser expulsados por la actividad volcánica (Havlin *et al.*, 2005).

Las formas orgánicas de azufre, son la principal fuente de suministro de las plantas, principalmente en regiones de clima húmedo en donde, como se ha visto anteriormente, el azufre mineral es lavado por el agua de lluvia. El porcentaje de azufre orgánico en este tipo de suelos puede alcanzar porcentajes superiores al 70% y, en general, más de la mitad de este azufre es de tipo orgánico (Muslera y Ratera, 1991). Las concentraciones adecuadas de sulfato en las plantas van desde los 150  $\text{mg kg}^{-1}$ , para el caso de leguminosas hasta 320  $\text{mg kg}^{-1}$  para el caso de algunas gramíneas (Whitehead, 2000). Dado el bajo requerimiento de S comparado con el de N, la mayoría de los desechos de los animales y atmosféricos contienen suficiente cantidad de azufre disponible. Los contenidos típicos de azufre en los desechos orgánicos van desde 0.2 – 1.5% de azufre (Havlin *et al.*, 2005).

El azufre inorgánico puede tener como origen la descomposición de la roca madre, yeso, rocas básicas y otras que tienen compuesto de azufre. Los suelos de regiones de clima áridos, o semi – áridos pueden acumular sulfatos en cantidad importantes. En cambio en zonas de climas húmedos de las regiones templadas o regiones subtropicales, el azufre soluble es fácilmente lavado del suelo y puede haber problemas de carencia ya que el azufre inorgánico se encuentra en escasas cantidades en los horizontes de estos suelos (Muslera y Ratera, 1991).

De acuerdo a Harward y Reisenauer (1966) citado por Muslera y Ratera (1991) los puntos más importantes referentes a la adsorción y retención de sulfatos son:

- La retención de sulfatos es mayor en el subsuelo que en el suelo.
- Los hidróxidos de hierro y aluminio son responsables de una gran parte de la adsorción del sulfato.
- La cuantía de la fijación depende de la concentración de sulfatos.
- El fosfato desplaza al sulfato adsorbido por el suelo y, aplicado conjuntamente, reduce la fijación del sulfato; por el contrario el sulfato tiene poco efecto sobre la adsorción del fosfato.
- La retención del sulfato por los suelos está asociada a la del fosfato. Alta y baja retención de fosfato corresponden a alta y baja de sulfato, respectivamente.

Para el caso del azufre elemental ( $S^0$ ) en un sólido amarillo e insoluble, cuando  $S^0$  es finamente molido y mezclado con el suelo se oxida a  $SO_4^{-2}$  por los microorganismos del suelo. La efectividad que presenta el  $S^0$  en entregar S a las plantas, comparado con  $SO_4^{-2}$ , depende del tamaño de las partículas de  $S^0$ , rango, método y tiempo de aplicación, su potencial oxidativo y las condiciones ambientales. El rango de oxidación del  $S^0$  es mayor a medida que disminuye el tamaño de las partículas. El incremento del área de  $S^0$  resulta en una mayor disponibilidad de  $SO_4^{-2}$  para los cultivos (Havlin *et al.*, 2005).

**2.3.5. Transformaciones del azufre.** A continuación se describen las principales transformaciones por las cuales pasa el azufre para poder estar disponible en el suelo.

2.3.5.1. Mineralización. Las formas orgánicas del azufre deben ser mineralizadas por organismos del suelo si el azufre va a ser utilizado por las plantas. El rango en que ocurrirá esto dependerá de los mismos factores ambientales que dependen de la mineralización del nitrógeno, que incluyen humedad, aireación, temperatura y pH. Algunos de los compuestos orgánicos más fácilmente descompuestos en los suelos son los ésteres de sulfato, a partir del cual los microorganismos liberan iones de sulfato directamente. Aunque en gran parte de la materia orgánica del suelo, el azufre en su estado reducido es vinculado con átomos de carbono en proteínas y compuestos de aminoácidos. Ya que esta versión de sulfato disponible depende principalmente de procesos microbianos, la oferta de sulfato disponible en suelos fluctúa con las estaciones, y algunas veces, cambios ambientales diarios (Brady y Weil, 2008).

La mineralización es un proceso primordialmente microbiológico, este proceso por lo general aumenta con rangos de temperatura que aumentan desde 5 – 30°C, y está en su máximo cuando la humedad del suelo está cercana a la capacidad de campo y cuando el pH está cercano a neutro. Las proporciones entre C: S y N: S son importantes en el balance entre la mineralización y la inmovilización de azufre. En la práctica las proporciones basadas en la cantidad de C, N y S en fracciones de fácil disponibilidad son más importantes que las proporciones basadas en el contenido total de C, N y S (Whitehead, 2000).

2.3.5.2. Inmovilización. El patrón del azufre inmovilizado en los suelos sugiere, que al igual que el nitrógeno, el azufre en suelos orgánicos puede estar asociado con carbono orgánico en una constante proporción razonable (C 100: N 8: S 1). Mediante la descomposición microbiana de los materiales orgánicos, muchos gases constituyentes de azufre se forman, incluyendo ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), sulfuro de carbonilo (COS),

metanotiol ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ). El ácido sulfhídrico se produce comúnmente en suelos anegados por la reducción de sulfatos por bacterias anaeróbicas. La mayoría de los otros se forma por la descomposición microbiana de aminoácidos que contiene azufre. Aunque estos gases pueden ser adsorbidos por los coloides del suelo algunos escapan a la atmosfera, donde experimentan cambios químicos y vuelven a los suelos (Brady y Weil, 2008).

2.3.5.3. Oxido - Reducción del azufre. En los suelos, el azufre elemental es oxidado a sulfato principalmente a través de microorganismos autótrofos y heterótrofos. La actividad microbiana y el rango de oxidación del azufre elemental son afectados por las condiciones ambientales tales como las características del suelo, el suelo y de las prácticas de manejo de los fertilizantes, las cuales aumentan la dispersión de las partículas de S elemental desde los fertilizantes granulados (Khan *et al.*, 2010).

La oxido-reducción de compuestos de azufre inorgánico juegan un rol importante en determinar la cantidad de sulfato (la forma del azufre disponible para la planta) presente en los suelos en cualquier época. También, el estado de oxidación del azufre es un factor importante en la acidez del suelo y del agua drenada en los suelos (Brady y Weil, 2008).

La oxidación del azufre es un proceso acidificante. El efecto de la acidificación por la oxidación del azufre puede causar daños de mantención de los suelos. Algunos suelos y materiales sedimentarios se denominan azufrados por que contienen altos niveles de azufre reducido, una forma común de azufre reducido es la pirita mineral ( $\text{FeS}_2$ ). Estos sulfuros son estables tanto tiempo como el oxígeno no está presente, pero si algunos materiales sumergidos o enterrados son drenados o excavados, los sulfuros y/o azufre elementales se oxidan rápidamente y forman ácido sulfúrico, bajando el pH del suelo hasta 1,5 lo que lleva a que las plantas no crezcan bajo estas condiciones (Brady y Weil, 2008).

#### **2.4. Interacción con otros nutrientes**

En general la mayoría de los suelos contiene la cantidad suficiente de azufre para cubrir los requerimientos de las plantas, mientras que el nitrógeno en su mayoría es deficiente para el desarrollo de las plantas. El nitrato y el sulfato deben ser reducidos antes de ser incorporados en diversos compuestos de nitrógeno y azufre orgánicos esenciales. La captura y asimilación del azufre y el nitrógeno están fuertemente interrelacionados ya que la mayor parte del nitrógeno y azufre reducido es incorporado en aminoácidos y posteriormente en proteínas (Stulen y Kok, 2012).



El azufre en forma de anión sulfato, se combina con otros cationes como calcio y magnesio, que son fácilmente lavados del terreno con agua de lluvias. Esta propiedad es conocida y muy utilizada en la recuperación de suelos salinos, para la eliminación del exceso de sodio como en el caso de las vegas (Muslera y Ratera, 1991).

La adsorción de  $\text{SO}_4^{-2}$  ocurre en el intercambio de sitios con carga positiva en los bordes de minerales de arcilla, y en óxidos de Fe y Al, la capacidad de adsorción de  $\text{SO}_4^{-2}$  de un suelo es disminuida por el incremento del pH y el contenido de P (Camberato y Pan, 2012).

## **2.5. Azufre en las plantas**

Las plantas captan el azufre a través de sus raíces, en forma de sulfato, pero las plantas también pueden obtener grandes cantidad de azufre, a través de  $\text{SO}_2$  presente en la atmosfera, a través de sus estomas en las hojas. Al contrario que el fosforo, el cual se mueve por difusión en el suelo, el azufre se mueve principalmente por el flujo de masas (Whitehead, 2000). Pequeñas cantidades son absorbidas a través de las hojas y es utilizado por la planta, pero en altas concentraciones se vuelve tóxico. Disulfato ( $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$ ) también puede ser absorbido por las raíces (Havlin *et al.*, 2005).

Se presentan dos formas de captar el S por las plantas, la principal es a través de las raíces, en donde toman el S en forma de sulfatos, pero además las plantas pueden obtener el S desde la atmosfera a través de sus estomas en las hojas. Una vez tomando el sulfato por las raíces, este se mueve hacia arriba a través de xilema y es convertido a formas orgánicas en las hojas de las plantas (Whitehead, 2000). La reducción es necesaria para la incorporación de azufre en los aminoácidos, proteínas y coenzimas. A diferencia del nitrógeno, el azufre puede ser utilizado sin ser reducido y es incorporado en estructuras orgánicas como sulfolípidos en las membranas, o polisacáridos como el agar. También en contraste con el N, el azufre puede ser re-oxidado en la planta. El requerimiento de azufre para el crecimiento óptimo varía entre 0,1 y 0,5% de la materia seca de la planta. El requerimiento va aumentando en el siguiente orden Gramínea < Leguminosas < Crucíferas. En promedio, las proteínas en leguminosas contiene menos S que las proteínas en los cereales, la proporción N: S es 40:1 y 30:1 respectivamente (Hawkesford *et al*, 2012).

La concentración de S en los pastizales es similar tanto en leguminosas como en gramíneas. Cuando pastos y leguminosas crecen separados, las leguminosas tienden a ganar mayor concentración de S. Pero en praderas mixtas los pastos son los que tienden

a concentrar mayor cantidad que las leguminosas. En las leguminosas, se presenta una diferencia apreciable entre las especies, con valores medios de 0.29% con trébol blanco, 0.21% trébol rosado y 0.27% en alfalfa. La concentración de S en las planta viejas suele ser menos que la mitad que las plantas jóvenes a principios de primavera. La concentración de S puede disminuir aún más cuando la planta muere, la concentración que presentan las plantas muertas es de 0.06% comparado con el 0,14% de S en plantas jóvenes (Whitehead, 2000).

Por otra parte los desequilibrios afectan, al desarrollo de las plantas y a su composición, por ejemplo, una gramínea desarrollada en un suelo rico en azufre y pobre en nitrógeno, acumula azufre en forma inorgánica, mientras que un medio rico en nitrógeno y pobre en azufre, habrá un exceso de nitrógeno inorgánico, sobre el equilibrio N:S orgánico. En ninguna de las dos situaciones la planta alcanzara su desarrollo potencial, por el desequilibrio entre los nutrientes (Muslera y Ratera, 1991).

El contenido de azufre en el follaje de plantas sanas generalmente contiene entre un 0.15 a 0.45%, o aproximadamente una décima parte de azufre como de nitrógeno. La deficiencia de azufre en plantas tiende a volverlas largas y delgadas, y desarrollan tallos y peciolo delgados. Su crecimiento es lento, y su maduración se retrasa. También presentan un color verde clorótico o una apariencia amarillenta (Corrales-Maldonado, 2014).

Algunas plantas muestran una clorosis intervenal o rayas débiles que las distinguen de las hojas con deficiencia de nitrógeno. La deficiencia de azufre, a diferencia con la deficiencia de nitrógeno, tiende a tener un menor azúcar pero alto contenido de nitrato en la savia (Brady y Weil, 2008).

La disponibilidad del azufre para las plantas, es a menudo, evaluado al extraer el suelo con una solución que contiene algún anión como fosfato, bicarbonato, cloruro o acetato. Al extraer una muestra del suelo, por ejemplo con el fosfato, al menos una parte del azufre absorbido por la planta es desplazado y por lo tanto se extrae una gran o pequeña cantidad. Hay dos factores que influyen en la medición de la cantidad de azufre, la acumulación de azufre en el subsuelo, por debajo del área de muestreo, mientras que el otro factor está determinado por el 90% de azufre que se encuentra en forma orgánica en la mayoría de los suelos y no es medible en la mineralización que ocurre en época de crecimiento (Whitehead, 2000). Los suelos generalmente mineralizan más S con presencia de plantas en crecimiento, que sin ellas, dado por la estimulación de la actividad microbiana en la rizosfera a través de la excreción de aminoácidos y azúcares

desde las raíces de las plantas. La inmovilización por agregar  $\text{SO}_4^{-2}$  se ha observado en suelos no cultivados (Havlin *et al.*, 2005).

**2.5.1. Funciones en las plantas.** El azufre es esencial en la formación de proteínas y coenzimas, el metabolismo por lo general parte con la reducción de sulfato (Sager, 2012). Además, es esencial como un constituyente de las proteínas en las plantas y también es componentes que involucran la reacciones redox. En las proteínas de las plantas, la proporción de N: S es constante en 36:1 en término de números de átomo, la cual es equivalente a 15,7:1 en términos de peso. Un rol importante que cumple el azufre en las estructuras de las proteínas es la unión adyacente de cadenas poli peptídicas a través de los puentes disulfuro de dos uniones cisteína (Whitehead, 2000).

Stulen y Kok (2012) establecen que las plantas mantienen el contenido de nitrógeno y azufre en un cierto rango, y la proporción de N/S orgánico es, generalmente, alrededor de 20 en una base molar. Por lo tanto, las plantas deben tener un mecanismo para coordinar el consumo y reducción del sulfato y nitrato para que las proporciones adecuadas, de sulfato y otros aminoácidos estén disponibles para la síntesis de proteínas.

**2.5.2. Deficiencia y Toxicidad.** La deficiencia de azufre es más común encontrarla en suelos ligeros y poco profundos, con bajo contenido de materia orgánica, en áreas con baja deposición de azufre y con alta pluviometría durante el año (Sager, 2012). Corrales-Maldonado *et al.* (2014) establecen que la deficiencia del azufre en las plantas ocasiona un desequilibrio fisiológico, el cual se refleja a nivel agronómico. El mantener un buen nivel de azufre en las plantas ayuda a mantener la productividad y la eficiencia del uso, con respecto a otros nutrientes como lo son con el N, P y K, mejora la defensa antes agentes patógenos y la calidad de los cultivos.

En general Domínguez (1997) establece que la escasez de azufre impide la formación adecuada de proteínas en las plantas, con lo que el desarrollo se reduce considerablemente. El follaje adquiere un color verde pálido que se extiende a toda la planta, seguido de clorosis y marchitez.

Cuando el azufre es deficiente en las plantas, la concentración de aminoácidos que contienen S y varios otros aminoácidos en los tejidos de las plantas son reducidos. En leguminosas la deficiencia de S restringe la fijación de  $\text{N}_2$ , y en consecuencia las leguminosas presentan deficiencia de S y N total en conjunto (Whitehead, 2000).

El sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) es asimilado a aminoácidos constituyentes de azufre (cisteína, cistina y metionina) en la forma de grupos sulfhidrilos o tiol (-SH). Este proceso reductivo es similar a la asimilación de  $\text{NO}_3^-$  y produce dos moles netos de  $\text{OH}^-$  por cada mol de azufre asimilado. En la descomposición del sulfhidrilo, dos iones de  $\text{H}^+$  son generados por cada mol de -SH oxidado a sulfato. Dado que las plantas requieren 10 veces menos S que N, la asimilación de  $\text{SO}_4^{-2}$  tiene solo un pequeño efecto en el balance de protones en las plantas, y del mismo modo la descomposición de proteínas que contienen S contribuyen muy poco a la generación de ácidos en el suelo (Rengel, 2003).

## **2.6. Fertilizantes con contenido de azufre**

Sager (2012) menciona que las principales aplicaciones de azufre a los suelos es a través de los fertilizantes NPK, el cual otorga entre 2 – 5% de azufre ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , y  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), aunque con frecuencia el contenido de azufre puede exceder las cantidades marcadas.

El yeso es a veces usado como una fuente de S, pero el sulfato de potasio, sulfato de amonio y disulfato de amonio son alternativas en las cuales el azufre queda más disponible para las plantas. El azufre elemental puede ser incorporado dentro de otros fertilizantes y es particularmente adecuado para las praderas, ya que el azufre está disponible más lentamente que en su forma de sulfato esto reduce las pérdidas por lixiviación (Whitehead, 2000). Los fertilizantes a base de azufre elemental y las formas orgánicas de azufre tienen que ser convertidos a sulfato, es aquí donde la micro biota asociada a la planta juega un papel muy importante para llevar a cabo procesos de mineralización y oxidación (Corrales-Maldonado *et al.*, 2014). También las dosis de fertilización variarán de acuerdo al potencial alcanzable debido al rango de precipitación de la zona húmeda, el relieve, la exposición, el drenaje, las texturas sub-superficiales (Sáez, 1995). El S elemental queda disponible cuando es oxidado por bacterias a  $\text{SO}_4^{-2}$  y el rango de oxidación depende del tamaño de las partículas de azufre, de la temperatura y la humedad (Camberato y Pan, 2012).

Aplicaciones nutritivas de S son más frecuentes con la aplicación de fuentes de N. La fuente primaria de S para el caso de fertilizantes líquidos son sulfato de amonio (24% de S), bisulfato de amonio (32% de S) y tiosulfato (26% de S). Las fuentes de azufre usadas en fertilizantes sólidos son sulfato de potasio (18% de S), sulfato de magnesio y potasio (23% de S), sulfato de magnesio (14% de S) y superfosfato. El azufre elemental también es utilizado a veces como una fuente de liberación lenta de azufre nutritivo (Camberato y Pan, 2012).

El sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) es un fertilizante sólido que contiene un 24% de S y un 21% de N y es usado tanto en la deficiencia de azufre como de nitrógeno. El sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) es un sólido blanco, con un 17% de azufre, es producido de diferentes formas, incluyendo la reacción de KCl con  $\text{SO}_4$  resultando en sales o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y la recuperación de las salmueras naturales. Es usado comúnmente en cultivos sensibles al Cl<sup>-</sup> tales como papas y tabaco y en árboles frutales y hortalizas. Su comportamiento es similar al KCl en los suelos pero tiene la ventaja de que agrega S y tiene un bajo índice salino. El sulfato de potasio y magnesio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) es una doble sal, la cual además de S tiene 18% de K y 11% de Mg. Reacciona como cualquier sal neutra cuando es aplicada al suelo (Havlin *et al.*, 2005). Para mayor detalle ver cuadro 1.

El sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) es una sal natural de bajo costo de producción y de reacción neutra. El sulfato de calcio debe ser incorporado con las últimas labores de suelo antes de la siembra. Finalmente el sulfato de potasio y magnesio puede ser utilizado en aquellas condiciones en que, además de la deficiencia de S, se presentan bajos valores de potasio y magnesio (Rodríguez, 1992).

**Cuadro 1.** Fertilizantes granulados simples de uso directo al suelo con azufre en su composición.

| MATERIAL                                    | FORMULA  | % Azufre (S) |
|---|--|--------------|
| Superfosfato Simple                         | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$ | 12           |
| Superfosfato Triple                         | $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   | 1            |
| Sulfato de Amonio                           | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   | 24           |
| Sulfato Potásico                            | $\text{K}_2\text{SO}_4$  | 18           |
| Yeso agrícola o fertiyeso                   | $\text{CaSO}_4$  | 18           |
| Fertilizantes NPK                           | Varias   | 0,1– 9,1     |
| Azufre elemental                            | S  | 90 – 99      |
| Nitrato de Sodio (Salitre sódico)           | $\text{NaNO}_3$  | 0,1          |
| Sulfato de Magnesio<br>(sal de Epson)       | $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$                                     | 13           |
| Sulfato de Magnesio (kieserita)             | $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$                                      | 20           |
| Fosfato Monoamónico                         | $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$   | 2            |
| Sulfato de Potasio y Magnesio<br>(Sulpomag) | $\text{K}_2\text{SO}_4 \times \text{MgSO}_4$                                   | 22           |

Fuente: Adaptado de Whitehead (2000) y Román *et al.* (2001)

## **2.7. Experiencias con aplicaciones de azufre**

Según Schenkel (1974), en un estudio para establecer los nutrientes deficientes en la provincia de Magallanes, establece que las reservas de azufre son escasas, y por lo tanto se agotan fácilmente. Esta situación que se dio en las muestras del estudio no es atribuida a las pérdidas por lixiviación, por tener una pluviometría baja y regular. En una aplicación de NPKS en suelos de distintas regiones ecológicas de la provincia de Magallanes el índice de rendimiento se estableció entre el 90 – 100% en lugares de estepa, matorral, vegas y bosques.

En un estudio donde se analizó el efecto de la fertilización con distintas formas de nitrógeno y azufre en el rendimiento de praderas de *Dactylis glomerata*, se estableció que las mayores producciones se obtuvieron con la aplicación de nitrógeno en forma líquida (UAN-30) y el azufre en la forma de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Aunque para el caso del azufre no se mostró un rendimiento óptimo recién hasta el segundo corte, lo que indica que es un fertilizante de acción lenta. En el estudio también se obtuvo el contenido total de azufre en las plantas en el tiempo del corte y los resultados fueron desde 1,37–3,15 g de S  $\text{ha}^{-1}$ . Los datos obtenidos indican que el contenido de azufre en las plantas que no fueron fertilizados con este nutriente fue mucho menor que la que se considera óptimo para pastos (Kacsor y Brodowska, 2009).

Por otro lado en un ensayo en maceteros con plantas de la especie *Lolium* y *Trifolium* y con la aplicación de azufre elemental, se determinó un aumento de los rendimientos satisfactorios que no eran significativamente diferentes de la aplicación con sulfato de potasio (Donald y Chapman, 1998).

En experiencias realizadas por el INIA en la región de Magallanes mostraron la respuesta rentable de la pradera naturalizada con la fertilización de fósforo y azufre. Aunque las dosis óptimas eran relativamente bajas, estaban entre 40 y 60 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$   $\text{ha}^{-1}$  y entre 20 y 60 kg de S  $\text{ha}^{-1}$  (Sáez, 1995).

Strauch y Covacevich (2001), establecen que la deficiencia de azufre comenzaría en Magallanes al existir menos de 12 ppm de este elemento y para corregir esta deficiencia se debería aplicar 33 kg de S  $\text{ha}^{-1}$ , por otro lado Sáez (1995) establece que de existir deficiencia de azufre (menor a 8 ppm de S-extractable), la óptima dosis de corrección por hectárea sería de 40 kg de S  $\text{ha}^{-1}$ .

### 3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1. Ubicación y duración del ensayo

El ensayo se realizó en el invernadero número 6 del Centro de Horticultura y Floricultura “Lothar Blunck”, que se encuentra en el Instituto de la Patagonia de la Universidad de Magallanes. El ensayo tuvo una duración de 75 días, desde que se sembraron las semillas de pasto ovillo y alfalfa (1 de Septiembre, 2014) hasta el día que se realizó el corte de las plantas (15 de Diciembre, 2015). El tiempo del ensayo, en el cual las plantas estuvieron bajo tratamiento de fertilización con azufre fue de 60 días.

#### 3.2. Especies y sustratos utilizados

Las especies que se utilizaron para el estudio fueron *Medicago sativa* (alfalfa), *Dactylis glomerata* (pasto ovillo) y *Poa flabellata*. Las variedades que se utilizaron fueron, para el caso de la alfalfa, 350 acb inoculadas y peletizadas, las cuales se solicitaron a la empresa A.C. Baldrich. Mientras que para el caso de pasto ovillo la variedad que se utilizó fue Potomac y para *Poa flabellata* se utilizaron semillas recolectadas por el equipo de trabajo del laboratorio de pastizales de la Universidad de Magallanes. Los sustratos usados fueron suelos obtenidos bajo las comunidades vegetales de *Empetrum rubrum* y de *Festuca gracillima*, además, de turba para mantener la humedad del suelo. Se utilizaron estos dos tipos de sustratos (*F. gracillima* y *E. rubrum*) ya que de acuerdo a la literatura (SAG, 2003 y 2004) son los dos tipos de comunidades más representativos en las praderas naturalizadas en la región.

#### 3.3. Análisis químico de los suelos utilizados

Una vez tamizados se tomaron muestras de los tres sustratos utilizados (suelo de murtilla y coirón, más turba). En el cuadro 2 se puede ver el análisis de los suelos, el cual fue realizado en el Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile.

**Cuadro 2.** Resultado del análisis de suelo realizado a los tres tipos de sustratos.

| RESULTADOS ANALITICOS  |  | Turba | Suelo de Coirón | Suelo de Murtila |
|------------------------|--|-------|-----------------|------------------|
| pH                     | en agua (1:2,5)                                      | 4,7   | 5,8             | 4,9              |
| pH                     | CaCl <sub>2</sub> ( 0,01M) (1:2,5)                   | 4,4   | 5,1             | 4,1              |
| Materia Orgánica       | (%)  | 83,2  | 14,5            | 20,0             |
| Fósforo                | Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )                         | 12,2  | 10,6            | 8,5              |
| Potasio                | intercambiable (mg kg <sup>-1</sup> )                | 230   | 485             | 203              |
| Sodio                  | intercambiable (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 2,8   | 0,8             | 1,0              |
| Calcio                 | intercambiable (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 24,9  | 14,9            | 3,9              |
| Magnesio               | intercambiable (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 12,9  | 7,2             | 2,1              |
| Suma de bases          | intercambiable (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 41,3  | 24,2            | 7,5              |
| Aluminio               | intercambiable (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 1,7   | 0,0             | 1,9              |
| CICE                   | (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )                | 43,0  | 24,2            | 9,4              |
| Saturación de Aluminio | (%)  | 4,0   | 0,2             | 19,9             |
| Azufre                 | disponible (mg kg <sup>-1</sup> )                    | 57,5  | 2,1             | 6,5              |
| Boro                   | disponible (mg kg <sup>-1</sup> )                    | 4,6   | 1,1             | 0,7              |

### 3.4. Materiales

Se utilizó un tamiz de 4 mm, bandejas speedling de 100 alveolos, para la germinación de las semillas de alfalfa y pasto ovillo, bolsas de polietileno de 1 litro de capacidad tipo macetero para el desarrollo de las plantas durante el ensayo, vasos precipitados, botellas de agua para realizar el riego y un Data Logger marca HOBO micro station, para registrar las temperaturas y porcentaje de humedad relativa diaria del invernadero durante el tiempo del ensayo.

### 3.5. Germinación

Para la germinación de las semillas se utilizó una mezcla de suelo obtenido bajo una comunidad de *E. rubrum* con turba y de suelos bajo *F. gracillima* con turba para cada especie. Los suelos y la turba fueron tamizados a 4 mm y mezclados en una proporción 70% de suelo y 30% turba para las bandejas de germinación, posteriormente se regaron las bandejas a saturación. Después de saturadas las bandejas se sembraron dos semillas por cada alveolo. Durante los días de la emergencia y germinación de las



plántulas se les aplicaba un riego con aspersores para mantener la saturación y se le aplicaban rotaciones a las bandejas para un fototropismo óptimo.

**Cuadro 3.** Porcentajes de germinación de pasto ovillo y alfalfa.

| <b>ESPECIE/SUSTRATO</b>      | <b>% GERMINACION<br/>(1 SEMANA)</b> | <b>% GERMINACION<br/>(1 MES)</b> |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Pasto Ovillo/Murtilla</b> | 25                                  | 35                               |
| <b>Pasto Ovillo/Coirón</b>   | 29                                  | 38                               |
| <b>Alfalfa/Murtilla</b>      | 40                                  | 56                               |
| <b>Alfalfa/Coirón</b>        | 70                                  | 78                               |

### **3.6. Trasplante y tratamientos de fertilización**

Se prepararon la mezcla entre los sustratos en la proporción 1:1 de suelo bajo *E. rubrum* con turba para 52 maceteros y de suelos bajo *F. gracillima* con turba para otros 52 maceteros, se pesaron y posteriormente se regaron a saturación. Luego se realizó el trasplante que fue a la sexta semana de la siembra de las semillas, cuando las plantas tenían aproximadamente entre 6 – 10 cm de altura. Se trasplantaron 2 plántulas por pote, teniendo en total 52 potes por cada tipo de suelo, haciendo un total de 104 maceteros.

Para la fertilización se utilizaron fertilizantes comerciales los cuales fueron; Urea (46% N), Superfosfato Triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Muriato de Potasio (60% K<sub>2</sub>O) y Yeso (15% S y 45% de SO<sub>4</sub>). Se extrapoló la dosis por hectárea correspondiente a cada uno de los fertilizantes, a la capacidad de los maceteros. Para el yeso se entregaron las dosis de azufre correspondiente a cada uno de los tratamientos (cuadro 4), en donde, T0 corresponde al tratamiento control, sin aplicación de fertilizante, T10 correspondía a 10 kg de S por ha<sup>-1</sup>, T20 correspondía a 20 kg de S ha<sup>-1</sup>, T40 a 40 kg de S ha<sup>-1</sup> y por último el tratamiento T80 que correspondía a 80 kg de S ha<sup>-1</sup>. Estos cuatro fertilizantes se mezclaron homogéneamente y se aplicaron entre las dos plantas ya trasplantadas en los potes.

**Cuadro 4.** Tratamientos realizados indicando la cantidad (gramos de fertilizante/macetero) y tipo de fertilizante utilizado.

| FERTILIZANTES | Gramos de fertilizante / macetero |              |              |              |              |
|---------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | Trat. 0                           | Trat. 10     | Trat. 20     | Trat. 40     | Trat. 80     |
| Urea          | 0                                 | 0,074        | 0,074        | 0,074        | 0,074        |
| SFT           | 0                                 | 0,055        | 0,055        | 0,055        | 0,055        |
| Muriato       | 0                                 | 0,090        | 0,090        | 0,090        | 0,090        |
| Yeso          | 0                                 | 0,075        | 0,151        | 0,302        | 0,603        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>0</b>                          | <b>0,294</b> | <b>0,370</b> | <b>0,520</b> | <b>0,822</b> |

En el caso de *Dactylis glomerata* se eliminó el tratamiento T10 y una repetición ya que al principio del estudio el porcentaje de germinación fue muy bajo. Los bloques, se reordenaron una vez por semana en forma aleatoria, para evitar que el factor de intensidad lumínica afecte a algunas plantas más que a otras.

### 3.7. Riego

Una vez listos los maceteros, el riego se realizó 2 veces por semana durante el primer mes, regando para mantener la saturación de los maceteros. Después del segundo mes se comenzó a regar día por medio, por el aumento de la temperatura ambiente.

### 3.8. Parámetros evaluados

A continuación se detallan las evaluaciones realizadas en cada una de las especies utilizadas en el ensayo, las cuales fueron medidas después de dos meses de crecimiento de las plantas en los maceteros.

**3.8.1. Altura de plantas.** La medición se realizó a cada una de las plantas (208 plantas) de las tres especies evaluadas, con una regla, desde la base de la planta hasta la punta más alta de la hoja más larga.

**3.8.2. Número de tallos o macollos.** El conteo de macollos (gramíneas) y tallos (leguminosa), se realizó manualmente, con la ayuda de una pinza para diferenciarlos, previo al corte de las plantas.

**3.8.3. Producción de materia seca aérea.** La producción de materia seca se obtuvo a través del secado del material vegetativo de las dos plántulas de cada macetero. Las muestras se colocaron en bolsas de papel, previamente rotuladas, para luego llevarlas al horno SHEL LAB SL, donde se dejaron a 60°C por 48 horas (Vaieretti *et al.*, 2007).

**3.8.4. Largo de raíz.** Para este parámetro se extendieron las raíces de cada una de las plantas en su máximo, se midió con una regla, expresando los resultados del largo en centímetros de cada una de las plantas.

**3.8.5. Producción de materia seca radical.** Una vez medido el largo de las raíces, se desecharon restos de material vegetativo, quedando solo la raíz de cada planta. Las raíces se colocaron en bolsas de papel, rotuladas, señalando el número del macetero. Luego las bolsas se llevaron al horno a 60° C por 48 horas (Vaieretti *et al.*, 2007), una vez cumplido los dos días, se pesaron en una pesa analítica.

**3.8.6. Número de nódulos.** Para el caso de la alfalfa (*Medicago sativa*) se contaron manualmente los nódulos de cada una de las plantas. Dado el tamaño de los nódulos, el conteo se realizó a través de una lupa binocular estereoscópica.

### **3.9. Diseño experimental y análisis estadístico.**

Para el ensayo se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y dos tratamientos (dosis de azufre y tipo de suelo) para *Poa flabellata* y *M. sativa* en cada uno de los sustratos evaluados. Mientras que para *D. glomerata*, fueron tres repeticiones y dos tratamientos. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza para encontrar diferencias significativas en cada tratamiento evaluado. Cuando hubo diferencias estadísticas, se utilizó el LSD como test de comparaciones múltiples para encontrar diferencias entre medias, utilizando una significancia de  $p < 0,05$ .

## 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de las distintas mediciones realizadas en la parte aérea y radical de las plantas; altura de las plantas, número de tallos o macollos, producción de materia seca área, largo de raíz, producción de materia seca radical y número de nódulos para el caso de la *M. sativa*.

### 4.1. Altura de plantas

En este punto se darán a conocer los resultados de la medición de altura de las plantas para *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* y *Poa flabellata*.

Las distintas dosis de azufre aplicados no muestran diferencias significativas entre los dos tipos de suelos evaluados para el parámetro de altura de planta para pasto ovilla. En el cuadro 5 se muestra que si hubo diferencias estadísticas significativas entre los distintos tratamientos de azufre aplicados. El tratamiento control presentó diferencias con las demás dosis de 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup> aplicados. El crecimiento promedio más bajo se dio con el tratamiento control y el más alto con el tratamiento de 80 kg de S ha<sup>-1</sup>, para ambos casos en el suelo de murtilla, con 17,17 cm y 49,67 cm respectivamente. Además, en el control se muestra que el promedio entre el crecimiento aéreo del pasto ovilla en murtilla fue de 17,17 cm y el crecimiento en coirón de 32 cm, esto muestra que sin ningún tipo de fertilización la planta creció el doble en suelo tipo coirón.

**Cuadro 5.** Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Dactylis glomerata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| ALTURA DE PLANTA (cm) |               |             |              |         |                |
|-----------------------|---------------|-------------|--------------|---------|----------------|
| Dosis                 | TIPO DE SUELO |             |              |         | PROMEDIO       |
|                       | Murtilla      | D.E         | Coirón       | D.E     |                |
| 0                     | 17,17         | ± 1,61      | 32,00        | ± 4,75  | <b>24,58 b</b> |
| 20                    | 47,42         | ± 9,41      | 45,67        | ± 5,40  | <b>46,54 a</b> |
| 40                    | 47,42         | ± 2,90      | 39,92        | ± 13,13 | <b>43,67 a</b> |
| 80                    | 49,67         | ± 7,25      | 44,67        | ± 5,39  | <b>47,17 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>40,42</b>  | <b>n.s.</b> | <b>40,56</b> |         |                |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p > 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

El cuadro 6, muestra que hubo diferencias significativas entre el control y las aplicaciones de azufre para altura de planta de *Poa flabellata*. como también entre los dos tipos de suelos evaluados (coirón y murtilla). Además, se muestra que entre las dosis de aplicación de 10, 20, 40 y 80  $\text{kg de S ha}^{-1}$  no se dieron diferencias significativas. Se muestra en el cuadro 6 que el promedio de altura más bajo se presentó con la dosis control, obteniendo una altura de 6,44 cm, bajo el suelo de murtilla, mientras que la altura más alta fue con tratamiento de 20  $\text{kg de S ha}^{-1}$  con 23,38 cm, la cual se obtuvo con el suelo de coirón.

**Cuadro 6.** Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Poa flabellata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| ALTURA DE PLANTA (cm) |               |          |              |          |                |
|-----------------------|---------------|----------|--------------|----------|----------------|
| Dosis                 | TIPO DE SUELO |          |              |          | PROMEDIO       |
|                       | Murtilla      | D.E      | Coirón       | D.E      |                |
| 0                     | 6,44          | ± 0,51   | 10,36        | ± 1,77   | <b>8,40 b</b>  |
| 10                    | 16,94         | ± 2,58   | 22,44        | ± 1,53   | <b>19,69 a</b> |
| 20                    | 17,26         | ± 0,96   | 23,38        | ± 3,12   | <b>20,32 a</b> |
| 40                    | 18,50         | ± 5,05   | 20,75        | ± 2,53   | <b>19,63 a</b> |
| 80                    | 19,13         | ± 3,38   | 20,25        | ± 2,19   | <b>19,69 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>15,65</b>  | <b>B</b> | <b>19,44</b> | <b>A</b> |                |

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 7 se muestran diferencias estadísticas significativas entre los dos tipos de suelos evaluados en el experimento, para el parámetro de altura de planta en *Medicago sativa*. Como también entre los distintos tratamientos de azufre aplicados, mientras que en las dosis de 10, 20, 40 y 80 kg S ha<sup>-1</sup> aplicadas no se presentaron diferencias entre sí. En el cuadro 7 se muestra que los promedios más bajos de crecimiento, según los dos tipos de suelos evaluados, fueron de 6,65 cm en murtilla y 25,63 cm en coirón, con el tratamiento control y los más altos de 38,06 cm con la aplicación de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> para el caso de murtilla y 45,25 cm con la aplicación de 80 kg ha<sup>-1</sup> para el caso de coirón.

**Cuadro 7.** Altura de planta (cm) según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| ALTURA DE PLANTA (cm) |               |          |              |          |                |
|-----------------------|---------------|----------|--------------|----------|----------------|
| Dosis                 | TIPO DE SUELO |          |              |          | PROMEDIO       |
|                       | Murtilla      | D.E      | Coirón       | D.E      |                |
| 0                     | 6,65          | ± 2,74   | 25,63        | ± 6,39   | <b>16,14 b</b> |
| 10                    | 33,38         | ± 4,23   | 42,25        | ± 17,52  | <b>37,81 a</b> |
| 20                    | 38,06         | ± 12,21  | 43,75        | ± 4,26   | <b>40,91 a</b> |
| 40                    | 31,88         | ± 6,26   | 41,81        | ± 5,19   | <b>36,84 a</b> |
| 80                    | 21,81         | ± 12,16  | 45,25        | ± 7,86   | <b>33,53 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>26,36</b>  | <b>B</b> | <b>39,74</b> | <b>A</b> |                |

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

En un ensayo en potes bajo condiciones controladas y realizando mediciones de altura a partir de la emergencia de las plántulas, Wang *et al.* (2003), compararon tres tipos de fertilización con azufre (0, 20 y 40 mg S kg<sup>-1</sup> de suelo) para plantas de alfalfa. No se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento 20 y 40 mg S ha<sup>-1</sup>, siendo el promedio más alto 36,0 cm, con la aplicación de 40 mg kg<sup>-1</sup> de suelo. Comparado con el estudio realizado, tuvo similares resultados, ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos utilizados, solo diferencias entre el control y los tratamientos para las tres especies evaluadas.

En un estudio de aplicación de fertilizantes de azufre a cultivos de gramíneas sembradas en distintos tipos de suelo y en maceteros indicaron que la respuesta de pasto ovillo a sulfatos depende del nivel de absorción de nitrógeno, cuando la aplicación de sulfatos era muy alta en relación con el nitrógeno disponible, había poca o ninguna

mejora en el crecimiento de *Dactylis glomerata* (Connor y Vartha, 1969). Además, los mismos autores, señalan que cuando la aplicación de nitrógeno es moderada, tratamiento con altos niveles de sulfato de calcio frecuentemente resultan en un menor crecimiento, que aquellos tratamientos con menores niveles de sulfato de calcio. Lo anterior, explicaría que no se encontraron diferencias estadísticas entre las dosis de azufre aplicadas para el trabajo desarrollado ya que no se aplicaron dosis de nitrógeno incrementadas entre los tratamientos, e incluso las dosis más altas presentaron alturas menores que dosis más bajas.

#### 4.2. Número de tallos o macollos

Como se muestra en el cuadro 8 el número de tallos de *Dactylis glomerata* presentó diferencias significativas entre los tratamientos aplicados de azufre. Entre el control y las dosis de 10, 20, 40 y 80 kg S ha<sup>-1</sup> se mostraron diferencias estadísticas significativas pero no así entre las distintas dosis aplicadas de azufre, y tampoco entre los dos tipos de suelos evaluados. Se muestra que tanto para el suelo de murtilla como para el suelo de coirón el promedio más alto se dio con la aplicación de la dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup>, siendo los valores de 5,67 y 2,89 unidades respectivamente. Entre las aplicaciones de dosis de 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup> se obtuvieron los mismos resultados en cada tipo de suelo, siendo los promedios 5,00 unidades para suelo de murtilla y 1,53 unidades para el suelo de coirón.

**Cuadro 8.** Número de macollos de *Dactylis glomerata* según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| NÚMERO DE MACOLLOS |               |            |             |        |          |
|--------------------|---------------|------------|-------------|--------|----------|
| Dosis              | TIPO DE SUELO |            | Coirón      | D.E    | PROMEDIO |
|                    | Murtilla      | D.E        |             |        |          |
| 0                  | 2,00          | ± 0        | 1,15        | ± 1,15 | 2,17 b   |
| 20                 | 5,67          | ± 0,58     | 2,89        | ± 2,89 | 5,00 a   |
| 40                 | 5,00          | ± 1,73     | 1,53        | ± 1,53 | 5,17 a   |
| 80                 | 5,00          | ± 5,00     | 1,53        | ± 1,53 | 5,17 a   |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>4,42</b>   | <b>n.s</b> | <b>1,77</b> |        |          |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados (p>0,05).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre aplicadas (p<0,05).

En el cuadro 9 se muestra que hubo diferencias significativas entre el control y las dosis de azufre para el parámetro de número de tallos de *Poa flabellata*, pero no se mostraron diferencias significativas entre los valores de las dosis 10, 20, 40 y 80 kg S ha<sup>-1</sup>, ni entre los dos distintos tipos de suelos evaluados. Los valores más bajos para ambos casos se dieron con la muestra control siendo de 2,00 unidades para los dos tipos de suelos. Para el caso del suelo de murtilla el valor más alto se obtuvo con la dosis de 10 kg de S ha<sup>-1</sup> teniendo 6,75 unidades promedio. Mientras que para el suelo de coirón el valor más alto se obtuvo con la aplicación de 40 kg de S ha<sup>-1</sup> con un promedio de 7,00 unidades.

**Cuadro 9.** Número de macollos según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) para *Poa flabellata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| NÚMERO DE MACOLLOS |               |            |             |        |               |
|--------------------|---------------|------------|-------------|--------|---------------|
| Dosis              | TIPO DE SUELO |            |             |        | PROMEDIO      |
|                    | Murtilla      | D.E.       | Coirón      | D.E.   |               |
| <b>0</b>           | 2,00          | ± 0        | 2,00        | ± 0    | <b>2,00 b</b> |
| <b>10</b>          | 6,75          | ± 1,50     | 6,25        | ± 0,96 | <b>6,50 a</b> |
| <b>20</b>          | 6,25          | ± 2,06     | 6,50        | ± 1,29 | <b>6,38 a</b> |
| <b>40</b>          | 6,25          | ± 0,96     | 7,00        | ± 1,15 | <b>6,63 a</b> |
| <b>80</b>          | 5,50          | ± 1,00     | 5,75        | ± 0,50 | <b>5,63 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>5,35</b>   | <b>n.s</b> | <b>5,50</b> |        |               |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p > 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 10, se muestra que a diferencia de los parámetros evaluados anteriormente, para el caso de *Medicago sativa* si existió interacción entre los tratamientos aplicados para el número de tallos, mientras que no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre los dos tipos de suelos evaluados. Se mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de S aplicados, en el suelo de murtilla entre el tratamiento control y todas las dosis de azufre, donde el promedio más alto fue 13,25 números de tallos, el cual se obtuvo con el tratamiento control. Mientras que para el caso del suelo de coirón el promedio más alto se dio con la dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> con 8,25 unidades.



**Cuadro 10.** Número de tallos según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| NÚMERO DE TALLOS |               |                 |             |                  |             |
|------------------|---------------|-----------------|-------------|------------------|-------------|
| Dosis            | TIPO DE SUELO |                 |             |                  | PROMEDIO    |
|                  | Murtilla      | D.E.            | Coirón      | D.E.             |             |
| <b>0</b>         | 13,25         | ± 2,75 <b>a</b> | 3,75        | ± 1,71 <b>b</b>  | <b>8,50</b> |
| <b>10</b>        | 6,50          | ± 0,58 <b>b</b> | 6,25        | ± 2,22 <b>ab</b> | <b>6,38</b> |
| <b>20</b>        | 6,25          | ± 2,99 <b>b</b> | 8,25        | ± 1,71 <b>a</b>  | <b>7,25</b> |
| <b>40</b>        | 6,50          | ± 1,29 <b>b</b> | 5,50        | ± 1,29 <b>ab</b> | <b>6,00</b> |
| <b>80</b>        | 5,00          | ± 2,16 <b>b</b> | 7,75        | ± 2,36 <b>a</b>  | <b>6,38</b> |
| <b>PROMEDIO</b>  | <b>7,50</b>   | <b>n.s</b>      | <b>6,30</b> |                  |             |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p > 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

Harris *et al.* (1996) obtuvo un incremento en la densidad de número de macollos presentes en una pradera de gramíneas, con la aplicación de tres dosis de N (0, 200 y 400  $\text{kg ha}^{-1}$  año) teniendo como resultados 4072, 6295 y 6673 macollos  $\text{m}^{-2}$  respectivamente. Por otra parte, Sheneiter y Rimieri (2001) aplicaron una dosis de azufre de 25  $\text{kg ha}^{-1}$  y se obtuvo una mayor densidad de número de macollos en la pradera de gramíneas. Si en el estudio realizado se hubieran aplicado las dosis de nitrógeno incrementadas entre los tratamientos quizás al igual que los estudios mencionados se hubieran presentado diferencias estadísticas entre las dosis.

En un estudio del efecto de fertilización a plantas de *P. flabellata*, Miranda (2014) plantea que las diferencias en número de tallos pueden presentarse en un periodo de desarrollo más avanzado de la planta y no en etapas tempranas de crecimiento. Esto puede explicar que no se encontró diferencias significativas entre tratamientos en la etapa inicial del desarrollo de las plantas.

### 4.3. Producción de materia seca aérea

En el cuadro 11 se muestra que para *Dactylis glomerata* se mostraron diferencias significativas para el parámetro de producción de materia seca, entre los tratamientos de azufre aplicados. No se mostraron diferencias estadísticas significativas entre los dos tipos de suelos evaluados, donde la cantidad más baja se presentó con la dosis control, mientras que para el suelo de murtilla el más alto fue con la dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> con 2,13 gramos y para el suelo de coirón la dosis de 80 kg de S ha<sup>-1</sup> con 2,30 gramos de materia seca.

**Cuadro 11.** Producción de materia seca aérea (gramos) según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) para *Dactylis glomerata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (g pote <sup>-1</sup> ) |               |            |             |        |               |
|--|---------------|------------|-------------|--------|---------------|
| Dosis  | TIPO DE SUELO |            |             |        | PROMEDIO      |
|  | Murtilla      | D.E.       | Coirón      | D.E.   |               |
| 0  | 0,08          | ± 0,01     | 0,43        | ± 0,12 | <b>0,26 b</b> |
| 20   | 2,13          | ± 0,25     | 1,77        | ± 0,06 | <b>1,95 a</b> |
| 40   | 1,90          | ± 0,70     | 1,83        | ± 0,06 | <b>1,87 a</b> |
| 80   | 2,07          | ± 0,31     | 2,30        | ± 0,52 | <b>2,18 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>                                    | <b>1,54</b>   | <b>n.s</b> | <b>1,58</b> |        |               |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados (p>0,05).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre (p<0,05).

En el cuadro 12 se muestra que hubo diferencias estadísticas significativas entre las dosis de S aplicadas y también entre los dos tipos de suelos evaluados para la especie *Poa flabellata* para el parámetro de producción de materia seca aérea. El promedio más alto en el suelo de coirón se obtuvo con la dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> y el más bajo con el tratamiento control. Mientras que para el suelo de murtilla, los valores más bajos se obtuvieron con el tratamiento control, mientras que los promedios más altos se obtuvieron con la dosis de 40 kg de S ha<sup>-1</sup>. Los valores más altos fueron con 0,46 gramos y 0,65 gramos para el caso de la murtilla y el coirón respectivamente.

**Cuadro 12.** Producción de materia seca aérea (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Poa flabellata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| PRODUCCIÓN MATERIA SECA ( $\text{g pote}^{-1}$ ) |               |            |             |            |                |
|--|---------------|------------|-------------|------------|----------------|
| Dosis  | TIPO DE SUELO |            |             |            | PROMEDIO       |
|  | Murtilla      | D.E.       | Coirón      | D.E.       |                |
| <b>0</b>   | 0,03          | $\pm 0,01$ | 0,08        | $\pm 0,02$ | <b>0,05 c</b>  |
| <b>10</b>  | 0,28          | $\pm 0,15$ | 0,53        | $\pm 0,19$ | <b>0,40 ab</b> |
| <b>20</b>  | 0,35          | $\pm 0,06$ | 0,65        | $\pm 0,24$ | <b>0,50 a</b>  |
| <b>40</b>  | 0,46          | $\pm 0,16$ | 0,48        | $\pm 0,10$ | <b>0,47 ab</b> |
| <b>80</b>  | 0,28          | $\pm 0,13$ | 0,38        | $\pm 0,15$ | <b>0,33 b</b>  |
| <b>PROMEDIO</b>                                  | <b>0,28</b>   | <b>B</b>   | <b>0,42</b> | <b>A</b>   |                |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 13 se muestra que para la *Medicago sativa* no hubo interacción entre los tratamientos, pero si se presentaron diferencias significativas en los tipos de suelos utilizados y entre las dosis de S. La menor producción promedio de materia seca, se obtuvo con el tratamiento control obteniendo 0,06 gramos y 0,52 gramos para el caso del suelo de murtilla y coirón respectivamente. Mientras que los promedios más altos de producción se obtuvieron con las dosis de 20  $\text{kg ha}^{-1}$  con 1,93 gramos para el caso del suelo de murtilla, mientras que en el caso del suelo de coirón la mayor producción se obtuvo con la dosis de 80  $\text{kg ha}^{-1}$  con 3,33 gramos.

**Cuadro 13.** Producción de materia seca aérea (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| <b>PRODUCCIÓN MATERIA SECA (<math>\text{g pote}^{-1}</math>)</b> |                      |             |               |             |                 |
|--|----------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|
| <b>Dosis</b>   | <b>TIPO DE SUELO</b> |             |               |             | <b>PROMEDIO</b> |
|  | <b>Murtilla</b>      | <b>D.E.</b> | <b>Coirón</b> | <b>D.E.</b> |                 |
| <b>0</b>   | 0,06                 | $\pm 0,04$  | 0,52          | $\pm 0,32$  | <b>0,29 b</b>   |
| <b>10</b>  | 1,33                 | $\pm 0,17$  | 2,53          | $\pm 1,43$  | <b>1,93 a</b>   |
| <b>20</b>  | 1,93                 | $\pm 0,40$  | 2,75          | $\pm 1,24$  | <b>2,34 a</b>   |
| <b>40</b>  | 1,48                 | $\pm 0,57$  | 2,05          | $\pm 0,31$  | <b>1,76 a</b>   |
| <b>80</b>  | 1,04                 | $\pm 0,90$  | 3,33          | $\pm 0,30$  | <b>2,18 a</b>   |
| <b>PROMEDIO</b>  | <b>1,17</b>          | <b>B</b>    | <b>2,23</b>   | <b>A</b>    |                 |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

En un estudio de Wang *et al.* (2003) en plantas de alfalfa realizado en potes y bajo condiciones controladas, se aplicaron tres dosis de fertilización de azufre; 0, 20 y 40  $\text{mg S kg}^{-1}$  de suelo con cuatro repeticiones cada una, en las cuales para el parámetro de materia seca área en el tratamiento control se obtuvo 0,65 gramos promedio, el doble comparado con los resultados obtenidos en el experimento realizado. Mientras que los dos tratamientos restantes (20 y 40  $\text{mg kg}^{-1}$  de suelo) no mostraron diferencias estadísticas significativas, al igual que las aplicaciones de azufre en el estudio (cuadro 13).

Hahtonen y Saarela (1995) en un estudio de fertilización de azufre para forraje, establecen que el contenido de azufre en la materia seca de las plantas depende más en el estado de crecimiento y la especie de las plantas, que en la cantidad de azufre aplicada.

#### 4.4. Largo de raíz

Como se muestra en el cuadro 14, se dieron diferencias estadísticas significativas en las dosis de S aplicadas para *Dactylis glomerata*, las diferencias se presentaron entre el tratamiento control y las distintas dosis de S aplicadas, no así entre las dosis de 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup>. No hubo interacción entre los tratamientos aplicados, pero si se mostraron diferencias entre los dos tipos de suelos evaluados para el parámetro de largo de raíz. En el caso del suelo de murtilla el promedio más bajo se obtuvo tanto con el tratamiento de 20 como de 40 kg de S ha<sup>-1</sup>, con 22,67 cm mientras que el valor más alto se dio con la dosis de 80 kg de S ha<sup>-1</sup>, con 29,33 cm de largo. Por otro lado, en el caso del suelo de coirón el crecimiento promedio más alto se obtuvo con la dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup>, con 33,67 cm de largo y el más bajo con la dosis de 40 kg de S ha<sup>-1</sup> con 25,00 cm de largo.

**Cuadro 14.** Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) para *Dactylis glomerata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| LARGO DE RAÍZ (cm) |               |          |              |          |                  |
|--------------------|---------------|----------|--------------|----------|------------------|
| Dosis              | TIPO DE SUELO |          |              |          | PROMEDIO         |
|                    | Murtilla      | D.E.     | Coirón       | D.E.     |                  |
| 0                  | 23,25         | ± 6,47   | 29,42        | ± 2,67   | <b>26,33</b>     |
| 20                 | 22,67         | ± 3,79   | 33,67        | ± 6,53   | <b>28,17</b>     |
| 40                 | 22,67         | ± 0,58   | 25,00        | ± 3,00   | <b>23,83</b> n.s |
| 80                 | 29,33         | ± 0,31   | 29,50        | ± 3,61   | <b>29,42</b>     |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>24,48</b>  | <b>B</b> | <b>29,40</b> | <b>A</b> |                  |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados (p>0,05).

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados (p<0,05).

En el cuadro 15, para el parámetro de largo de raíz hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de S aplicadas en *Poa flabellata*, como también entre los dos tipos de suelos evaluados (p<0,05), aunque no existió interacción entre los tratamientos aplicados. No hubo diferencias significativas en el crecimiento radical entre los tratamientos 10, 20 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup>. Los promedios más altos se dieron con la dosis de 40 kg de S ha<sup>-1</sup> para cada tipo de suelo, siendo 34,63 cm en murtilla y 39,19 cm en coirón. Mientras que el promedio más bajo de crecimiento radical se dio con el tratamiento control en ambos suelos, siendo 8,50 cm en murtilla y 13,44 cm en coirón.

**Cuadro 15.** Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Poa flabellata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| LARGO DE RAÍZ (cm) |               |          |               |          |                 |
|--------------------|---------------|----------|---------------|----------|-----------------|
| Dosis              | TIPO DE SUELO |          | TIPO DE SUELO |          | PROMEDIO        |
|                    | Murtilla      | D.E.     | Coirón        | D.E.     |                 |
| 0                  | 8,50          | ± 2,15   | 13,44         | ± 2,76   | <b>10,97 c</b>  |
| 10                 | 28,50         | ± 7,15   | 36,88         | ± 4,75   | <b>32,69 ab</b> |
| 20                 | 28,94         | ± 5,15   | 33,94         | ± 5,77   | <b>31,44 b</b>  |
| 40                 | 34,63         | ± 4,14   | 39,19         | ± 4,72   | <b>36,91 a</b>  |
| 80                 | 30,64         | ± 1,05   | 31,25         | ± 4,91   | <b>30,94 b</b>  |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>26,24</b>  | <b>B</b> | <b>30,94</b>  | <b>A</b> |                 |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ )

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 16 se muestra que para el caso de la *Medicago sativa*, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre las dosis de S aplicadas, como también se obtuvo diferencias entre los dos tipos de suelos evaluados para el parámetro de largo de raíz. No existieron diferencias entre las dosis 10, 20, 40 y 80  $\text{kg S ha}^{-1}$ . El promedio más alto se obtuvo con la dosis de 10  $\text{kg S ha}^{-1}$ , en ambos suelos evaluados siendo 30,88 cm en suelo de murtilla y 32,06 cm en suelo de coirón. Mientras que los más bajos se dieron con el tratamiento control, siendo 12,88 cm y 26,44 cm respectivamente.

**Cuadro 16.** Largo de raíz (cm) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| LARGO DE RAÍZ (cm) |               |          |               |          |                |
|--------------------|---------------|----------|---------------|----------|----------------|
| Dosis              | TIPO DE SUELO |          | TIPO DE SUELO |          | PROMEDIO       |
|                    | Murtilla      | D.E.     | Coirón        | D.E.     |                |
| 0                  | 12,88         | ± 1,61   | 26,44         | ± 4,44   | <b>19,66 b</b> |
| 10                 | 30,88         | ± 4,24   | 32,06         | ± 7,95   | <b>31,47 a</b> |
| 20                 | 25,44         | ± 3,97   | 27,56         | ± 3,93   | <b>26,50 a</b> |
| 40                 | 25,19         | ± 2,22   | 29,00         | ± 3,76   | <b>27,09 a</b> |
| 80                 | 24,75         | ± 10,91  | 29,44         | ± 3,02   | <b>27,09 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>    | <b>23,83</b>  | <b>B</b> | <b>28,90</b>  | <b>A</b> |                |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ )

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

Evans (1973) en un estudio bajo condiciones controladas, donde comparó tanto gramíneas como leguminosas, determinó que tanto el tamaño de la planta como el largo de la raíz están influenciados por el tamaño de las semillas que se utilicen. De un total de 40 semillas viables utilizadas, para el caso del pasto ovido, el promedio del largo de raíz fue 182 cm. El factor del tamaño de la semilla pudo haber influido en el porcentaje de germinación en el estudio realizado, aunque no fue un factor de medición, el bajo porcentaje de germinación obtenido al principio puede justificar el largo de raíz, ya que, en comparación con el estudio realizado por Evans las raíces obtenidas en el estudio son más cortas. Evans (1973) asegura que las semillas de mayor tamaño poseen una mayor ventaja en la competencia de nutrientes y agua.

Evans (1977) en otro estudio donde comparó leguminosas (tres tipos de tréboles) y cinco tipos de gramíneas, establece que en general las gramíneas tienen raíces más largas, delgadas y finamente ramificadas que las leguminosas, pero que presentaban superficies radicales similares por unidad de peso seco, aunque las gramíneas también presentan pelos radicales más largos y más frecuentes. Esto se ve reflejado en el estudio realizado, ya que, en los resultados obtenidos se mostró que tanto *P. flabellata* y *D. glomerata* presentaron mayor largo de raíz que *M. sativa*.

#### 4.5. Producción de materia seca radical

En el cuadro 17 se muestra que para el parámetro de materia seca radical en *Dactylis glomerata* hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de S aplicadas ( $p < 0,05$ ), pero no hubo diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p > 0,05$ ). En ambos tipos de suelos los promedios más altos de producción se presentaron con la dosis de 40 kg de S  $ha^{-1}$ , con 2,18 gramos y 2,26 gramos para el caso del suelo de murtilla y suelo de coirón respectivamente. Mientras que los promedios de producción más bajos se obtuvieron con el tratamiento control, con 0,03 gramos en suelo de murtilla y 0,25 en suelo de coirón.

**Cuadro 17.** Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $kg\ ha^{-1}$ ) para *Dactylis glomerata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| MATERIA SECA RADICAL ( $g\ pote^{-1}$ ) |               |            |               |            |               |
|---|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Dosis                                   | TIPO DE SUELO |            | TIPO DE SUELO |            | PROMEDIO      |
|   | Murtilla      | D.E.       | Coirón        | D.E.       |               |
| 0                                       | 0,03          | $\pm 0,01$ | 0,25          | $\pm 0,02$ | <b>0,14 b</b> |
| 20                                      | 1,96          | $\pm 0,03$ | 1,90          | $\pm 0,36$ | <b>1,93 a</b> |
| 40                                      | 2,18          | $\pm 0,66$ | 2,26          | $\pm 0,98$ | <b>2,22 a</b> |
| 80                                      | 2,01          | $\pm 0,62$ | 2,06          | $\pm 1,03$ | <b>2,03 a</b> |
| <b>PROMEDIO</b>                         | <b>1,54</b>   | <b>n.s</b> | <b>1,62</b>   |            |               |

n.s. Indica que no hubo diferencias significativas de medias entre los suelos evaluados ( $p > 0,05$ ).

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 18 se muestra para la especie *Poa flabellata*, no existió interacción entre los tratamientos aplicados, pero sí existieron diferencias estadísticas significativas entre las dosis de S aplicadas, y entre los tipos de suelos que se evaluaron para el parámetro de materia seca radical. Entre los tratamientos 10, 20 y 40 kg de S  $ha^{-1}$  estadísticamente no se presentaron diferencias significativas, si existieron diferencias entre el tratamiento control y las distintas dosis de S aplicadas. Como se muestra en el cuadro 16 la dosis de 40 kg de S  $ha^{-1}$  fue la que presentó mayor producción de materia seca radical, con 0,35 gramos. Mientras que los promedios más bajos lo presentó el tratamiento control con 0,01 gramos y 0,04 gramos para suelo de murtilla y coirón respectivamente.



**Cuadro 18.** Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Poa flabellata* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| <b>MATERIA SECA RADICAL (<math>\text{g pote}^{-1}</math>)</b> |                 |             |               |             |                 |
|---|-----------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|
| <b>TIPO DE SUELO</b>  |                 |             |               |             |                 |
| <b>Dosis</b>  | <b>Murtilla</b> | <b>D.E.</b> | <b>Coirón</b> | <b>D.E.</b> | <b>PROMEDIO</b> |
| <b>0</b>  | 0,01            | $\pm 0,01$  | 0,04          | $\pm 0,01$  | <b>0,03 c</b>   |
| <b>10</b>   | 0,22            | $\pm 0,13$  | 0,37          | $\pm 0,16$  | <b>0,30 ab</b>  |
| <b>20</b>   | 0,18            | $\pm 0,10$  | 0,42          | $\pm 0,12$  | <b>0,30 ab</b>  |
| <b>40</b>   | 0,30            | $\pm 0,14$  | 0,40          | $\pm 0,07$  | <b>0,35 a</b>   |
| <b>80</b>   | 0,22            | $\pm 0,05$  | 0,26          | $\pm 0,14$  | <b>0,24 b</b>   |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>0,19</b>     | <b>B</b>    | <b>0,30</b>   | <b>A</b>    |                 |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ )

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 19 se muestra que hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de S aplicadas y entre los suelos evaluados para el caso de *Medicago sativa*, además, existió interacción entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ) para el parámetro de materia seca radical. En el cuadro se muestra que el promedio de producción más bajo se dio con el tratamiento control en murtilla, mientras que el promedio más alto se dio con la dosis de  $80 \text{ kg de S ha}^{-1}$  en coirón, con 0,03 gramos y 1,36 gramos respectivamente.

**Cuadro 19.** Producción de materia seca radical (gramos) según dosis de azufre aplicadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| <b>MATERIA SECA RADICAL (<math>\text{g pote}^{-1}</math>)</b> |                      |                      |               |                      |                 |
|---|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| <b>Dosis</b>  | <b>TIPO DE SUELO</b> |                      |               |                      | <b>PROMEDIO</b> |
|   | <b>Murtilla</b>      | <b>D.E.</b>          | <b>Coirón</b> | <b>D.E.</b>          |                 |
| <b>0</b>  | 0,03                 | $\pm 0,01$ <b>b</b>  | 0,19          | $\pm 0,08$ <b>c</b>  | <b>0,11</b>     |
| <b>10</b>   | 0,66                 | $\pm 0,12$ <b>a</b>  | 0,89          | $\pm 0,55$ <b>ab</b> | <b>0,77</b>     |
| <b>20</b>   | 0,82                 | $\pm 0,36$ <b>a</b>  | 0,97          | $\pm 0,44$ <b>ab</b> | <b>0,90</b>     |
| <b>40</b>   | 0,70                 | $\pm 0,33$ <b>a</b>  | 0,67          | $\pm 0,20$ <b>bc</b> | <b>0,68</b>     |
| <b>80</b>   | 0,37                 | $\pm 0,31$ <b>ab</b> | 1,36          | $\pm 0,46$ <b>a</b>  | <b>0,86</b>     |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>0,51</b>          | <b>B</b>             | <b>0,82</b>   | <b>A</b>             |                 |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre ( $p < 0,05$ )

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados ( $p < 0,05$ ).

Wang *et al.* (2003) en un estudio de alfalfa con tres dosis de fertilización de azufre (0, 20 y 40  $\text{mg S kg}^{-1}$  de suelo) bajo condiciones controladas y realizando cortes cada 15 días después de la emergencia, establece que el peso seco de la raíz aumenta debido al aumento de la relación peso seco/peso fresco de la raíz, en lugar del aumento de la longitud de la raíz.

De hecho en el estudio realizado se muestra que el largo de la raíz (cuadro 16), para el caso de la alfalfa no presenta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de azufre aplicados. Pero si se muestra diferencias estadísticas en la materia seca radical de las plantas de alfalfa, lo cual se puede deber a que en algunas plantas las raíces eran más cortas pero más gruesas. Lo anterior fue señalado por Marschner (1991), quien informa que uno de los efectos iniciales de la toxicidad por aluminio es la disminución del largo radical, sin disminuir el peso de las raíces.

En un estudio en pradera, en donde se aplicaron cinco dosis de fertilización de azufre (0, 15, 30, 45 y 60  $\text{kg ha}^{-1}$  año) se estableció que las proporciones de azufre aplicadas por si solas, o acompañadas de fertilización de nitrógeno no afectó de ninguna forma las características del sistema radical (peso seco, largo de raíz y concentración de azufre en las raíces) (Silviera *et al.*, 2011). Sin embargo, en el experimento realizado si hubo un efecto en el desarrollo radical de las plantas evaluadas, teniendo como resultado raíces más gruesas pero menos largas, como se mostró en el pasto ovilla al momento del peso y medición del largo.

#### 4.6. Número de nódulos.

A continuación se darán a conocer los resultados de la cantidad de nódulos presentes en la especie *Medicago sativa*.

En el cuadro 20, para el caso de *Medicago sativa* se muestran diferencias significativas entre los dos tipos de suelos evaluados y entre las dosis de azufre aplicadas, para la producción de nódulos, pero no existió interacción entre los tratamientos. Se muestran diferencias significativas entre el control y las dosis de S aplicadas, aunque los tratamientos 10, 20 y 40 kg de S ha<sup>-1</sup> no presentaron diferencias significativas entre sí. Como muestra el cuadro 20 el promedio de producción de nódulos más alto fue de 118,50 nódulos en el suelo de murtilla y se dio con la aplicación de 20 kg de S ha<sup>-1</sup>. Mientras que en el suelo de coirón la mayor producción fue 217,25 nódulos en el tratamiento de 10 kg de S ha<sup>-1</sup>. Para ambos suelos los promedios más bajos se dieron con la dosis control, siendo 3,50 nódulos en suelo de murtilla y 26,00 nódulos en suelo de coirón.

**Cuadro 20.** Número de nódulos según dosis de azufre aplicadas (kg ha<sup>-1</sup>) para *Medicago sativa* según el tipo de suelo evaluado (coirón o murtilla).

| NÚMERO DE NODULOS |               |          |               |          |                  |
|-------------------|---------------|----------|---------------|----------|------------------|
| Dosis             | TIPO DE SUELO |          |               |          | PROMEDIO         |
|                   | Murtilla      | D.E.     | Coirón        | D.E.     |                  |
| <b>0</b>          | 3,50          | ± 4,51   | 26,00         | ± 8,21   | <b>14,75 c</b>   |
| <b>10</b>         | 53,50         | ± 42,13  | 217,25        | ± 140,37 | <b>135,38 ab</b> |
| <b>20</b>         | 118,50        | ± 42,24  | 160,50        | ± 27,69  | <b>139,50 a</b>  |
| <b>40</b>         | 72,00         | ± 39,34  | 106,00        | ± 23,22  | <b>89,00 ab</b>  |
| <b>80</b>         | 31,25         | ± 22,93  | 129,75        | ± 56,62  | <b>80,50 b</b>   |
| <b>PROMEDIO</b>   | <b>55,75</b>  | <b>B</b> | <b>127,90</b> | <b>A</b> |                  |

Diferente letra minúscula indica diferencias significativas de medias entre dosis de azufre (p<0,05)

Diferente letra mayúscula indica diferencias significativas entre los suelos evaluados (p<0,05).

Un estudio realizado por Divito y Sadras (2014) muestran que el crecimiento y número de nódulos son sensibles a la respuesta de deficiencia de fósforo, potasio y azufre. Lo anterior se explica en los resultados del estudio realizado, ya que se presentaron diferencias estadísticas significativas entre el control y las dosis de aplicación de S. Además, Divito y Sadras (2014), indican que estos nutrientes presentan

efectos directos en los procesos físicos y metabólicos de los nódulos y en la productividad de los nódulos en las plantas.

En una investigación realizada por Scherer *et al.* (2006), de leguminosas en potes, bajo condiciones controladas, establecen que los nódulos son mucho más pequeños y se presentan en menos cantidad sin suministro de fertilización de azufre. A los 46 días de sembradas las semillas con la dosis de 200 mg de S ha<sup>-1</sup> aplicados presentaba 4 veces más número de nódulos que el tratamiento control. Mientras que al día 60 después de la siembra, ya el número de nódulos por planta era siete veces mayor al tratamiento control. Lo cual, se respalda en el experimento realizado, ya que en los resultados con la aplicación de 10 y 20 kg de S ha<sup>-1</sup> presentaron un incremento significativo en comparación con el tratamiento control (cuadro 20).

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y en base a las condiciones en las cuales se desarrolló el ensayo se concluye que:

El efecto de la fertilización con azufre sobre los parámetros de la parte aérea de las especies evaluadas, presentó diferencias entre tratamientos. Lo anterior, implica que con dosis de 10 kg de azufre  $\text{ha}^{-1}$  es posible obtener aumentos en la producción de materia seca de las especies evaluadas. Por otro lado, aplicaciones de 80 kg S  $\text{ha}^{-1}$  afectarían parámetros morfológicos y de producción de *Poa flabellata* como altura de planta, materia seca área y radical, número de macollos.

El desarrollo radical (largo raíz y materia seca) de las distintas especies evaluadas, se vio afectada por la aplicación de las distintas dosis de azufre utilizadas, existiendo diferencias entre las dosis de azufre aplicadas y el control, exceptuando el largo de raíz para el caso del pasto ovilla. En el caso de la alfalfa, el número de nódulos aumentó en relación al control con la aplicación de 10 kg de S  $\text{ha}^{-1}$ , no existiendo diferencias entre el número de nódulos para las dosis de 10, 20 y 40 kg S  $\text{ha}^{-1}$ . Lo que demuestra la importancia de su aplicación cuando se siembra *Medicago sativa* en suelos de murtilla o coirón.

En la evaluación de los dos tipos de suelos utilizados (murtilla y coirón), si existieron diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados a excepción del parámetro de número de tallos o macollos producidos en las tres especies, y en la altura de plántulas y producción de materia seca tanto aérea como radical de *Dactylis glomerata*. Los resultados del estudio mostraron que la aplicación entre 10 a 20 kg de S  $\text{ha}^{-1}$  resulta en una mayor producción de materia seca de las especies evaluadas en los dos tipos de suelos utilizados. Para todos los parámetros evaluados el suelo de coirón siempre presentó mejores resultados promedios entre las especies, a excepción del parámetro de número de tallos en el pasto ovilla y alfalfa. Lo anterior implica que la introducción de cualquiera de las especies evaluadas en un suelo de murtilla necesariamente significaría una mayor corrección de las características del suelo (pH y nutrientes).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AGUILA, H. 1992. Pastos y Empastadas. (7<sup>ta</sup> Edición). Editorial Universitaria. 314 p.
- BRADY, N. Y WEIL, R. 2008. The Nature and Properties of Soils. Upper Saaddle River N. J.: Pearson Prentice Hall. 975 p.
- CAMBERATO, J.J Y PAN, W. 2012. Bioavailability of Calcium, Magnesium, Sulfur, and Silicon. *In*: HUANG, P., LI, Y. Y SUMNER M.E (ed.) Handbook of Soil Sciences Resources Management and Environmental Impacts. CRC Press. Taylor and Francis Group. 11 – 61 pp.
- CARTER, A. 1988. The Potential of Tussac Grass (*Parodiochloa flabellata*) as part of the wool production system in the Falkland Islands. Agriculture Research Centre Falkland Islands. 10 p.
- CONNOR, K.F. Y VASRTA, E.W. 1969. Responses of grasses to sulphur fertilisers. New Zealand Journal of Agriculture Research. Vol. 12, issue 1. 97 – 118 pp.
- CONTRERAS, C. 2004. Drenaje y Manejo Agronómico de Praderas en Mallines en la Zona Húmeda (Región de Aysén). Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigación Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones, INIA Tamel Aike, XI Región. 62 p.
- CORRALES-MALDONADO, CG., VARGAS, I., VALLEJOS, S Y MARTINEZ, MA. 2014. Eficiencia de Azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, BIOTECNIA. 38 – 44 pp.
- DIVITO, G. Y SADRAS, V. 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pastures legumes? A Meta-analisis. Field Crops Research, Vol. 156. 161 - 171 pp.
- DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de Fertilización. (3<sup>ra</sup> Edición). Ediciones Mundi-Prensa. 611 p.
- DONALD, D. Y CHAPMAN S.J. 1998. Use of powdered elemental sulphur as a sulphur source for grass and clover. Communications in Soils Science and Plant Analysis. Vol. 29, issue 9-10. 1315 - 1328 pp.

- EVANS, P.S. 1973. Effect of seed size and defoliation of three development stages of root and shoot growth of seedlings of some common pasture species. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Vol. 16, issue 3. 389 – 394 pp.
- EVANS, P.S. 1977. Comparative root morphology of some pastures grasses and clovers. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Vol. 20, issue 3. 331 – 335 pp.
- GAJARDO, R. 1985. Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena. Depto. De Silvicultura y Manejo. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. 493 p.
- GANDERATS, S. 2001. Antecedentes sobre la Producción de Praderas en Aysén. Centro Regional de Investigación Tamel Aike (INIA). Boletín INIA N° 69. 52 p.
- GREWAL, H.S. 2010. Fertilizer management for higher productivity of established lucerne pastures. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Vol. 35, issue 4. 303 – 314 pp.
- GUNN, T. C. 1976. The autecology of *Poa flabellata* (Lam.) Hook. f. Ph. D. thesis, University of Manchester. Manchester, United Kingdom. 166 p.
- HAHTONEN, M. Y SAARELA, I. 1995. The effect of sulphur application on yield, sulphur content and N/S – ratio of grasses for silage at six sites in Finland. *Soil and Plant Science* . Vol. 45, issue 2. 104 – 111 pp.
- HARDWARD, M.E. Y REISENAUER, H.M. 1966. Reaction and movements of inorganic soil sulphur. *Soil. Sci.* 326 – 335 pp.
- HARRIS, S.L., THOM, E.R Y CLARCK, D.A. 1996. Effects of high rates of nitrogen fertilizer on perennial ryegrass growth and morphology in grazed dairy pastures in northern New Zealand. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Vol. 39. 159 – 169 pp.
- HAVLIN, J.L., BEATON, I.D., TISDALE, S.L Y NELSON, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*. 7<sup>th</sup> Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 515 p.
- HEPP, C. 2001. Programa de Bonificación de fertilizantes para las Praderas Naturalizadas de la Zona Austral de Chile. Elevación del Sexenio 1993-1998. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigación Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones, INIA Tamel Aike, XI Región. 24 p.

- KACSOR, A Y BRODOWSKA, M.S. 2009. Yield of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and its nitrogen and sulphur content after fertilization with various forms of these nutrients. *Journal of Elementology*. Vol. 14, numero 4. 665-670 pp.
- LARA, A. Y CRUZ, G. 1987. Regiones Naturales del Uso Agropecuario de la XII Región, Magallanes y de la Antártica Chilena. Investigación Tecnológica Agropecuaria XII Región – 2<sup>da</sup> Etapa. INIA, Estación Experimental Kampenaike. 22 pp.
- LIDDLE, A. 2007. Plants of the Falkland Islands. Falkland Conservation. OTEP. 95 p.
- McADAM, J Y OLAVE, R. 2010. Falkland Islands Pasture Plant Guide. Department of Agriculture (DoA) and the Agri-Food and Biosciences institute (AFBI), Northern Ireland, UK. 52 p.
- McADAM, J Y WALTON, 1990. Ecology and Agronomic of Tussac Grass. Department of Agriculture Botany, The Queens University of Belfast. Belfast. 151 p.
- MARSCHNER. H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil* 134: 1 – 20 p.
- HAWKESFORD, M., HORST, W., KICHEY, T., LAMBERS, H., SCHJOERRING, J., MOLLER, I.S Y WHITE, P. Functions of Macronutrients. *In: MARSCHNER, P. (Ed.). 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. (3<sup>rd</sup> Edition). Academic Press. Sydney, Australia. 135 – 178 pp.*
- MIRANDA, G. 2014. Efecto de la fertilización sobre el desarrollo de plántulas de *Poa flabellata* lam en ambiente controlado. Universidad de Magallanes. Escuela de Ciencia y Tecnología en Recursos Acuícolas y Agrícolas. 1 – 39 pp.
- MUSLERA, E. Y RATERA, C. 1991. Praderas y Forrajes. Producción y Aprovechamiento. Ediciones Mundi – Prensa. 986 p.
- PISANO, V. E. 1977. Fitogeografía de Tierra del Fuego – Patagonia Chilena. I. Comunidades Vegetaciones entre las Latitudes 52 y 56° S. *Anales Instituto de la Patagonia*. Vol. I. Punta Arenas, Chile. 121 – 250 pp.
- RENGEL, Z. 2003. Handbook of Soil Acidity. Marcel Dekker Inc. 496 p.
- ROBERTS, T Y JOHNSTON, A. 2006. Intensidad de cultivo, rotaciones y tecnología de fertilización para la producción sustentable de trigo. Una experiencia norteamericana. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas*. N° 29. 9 p.

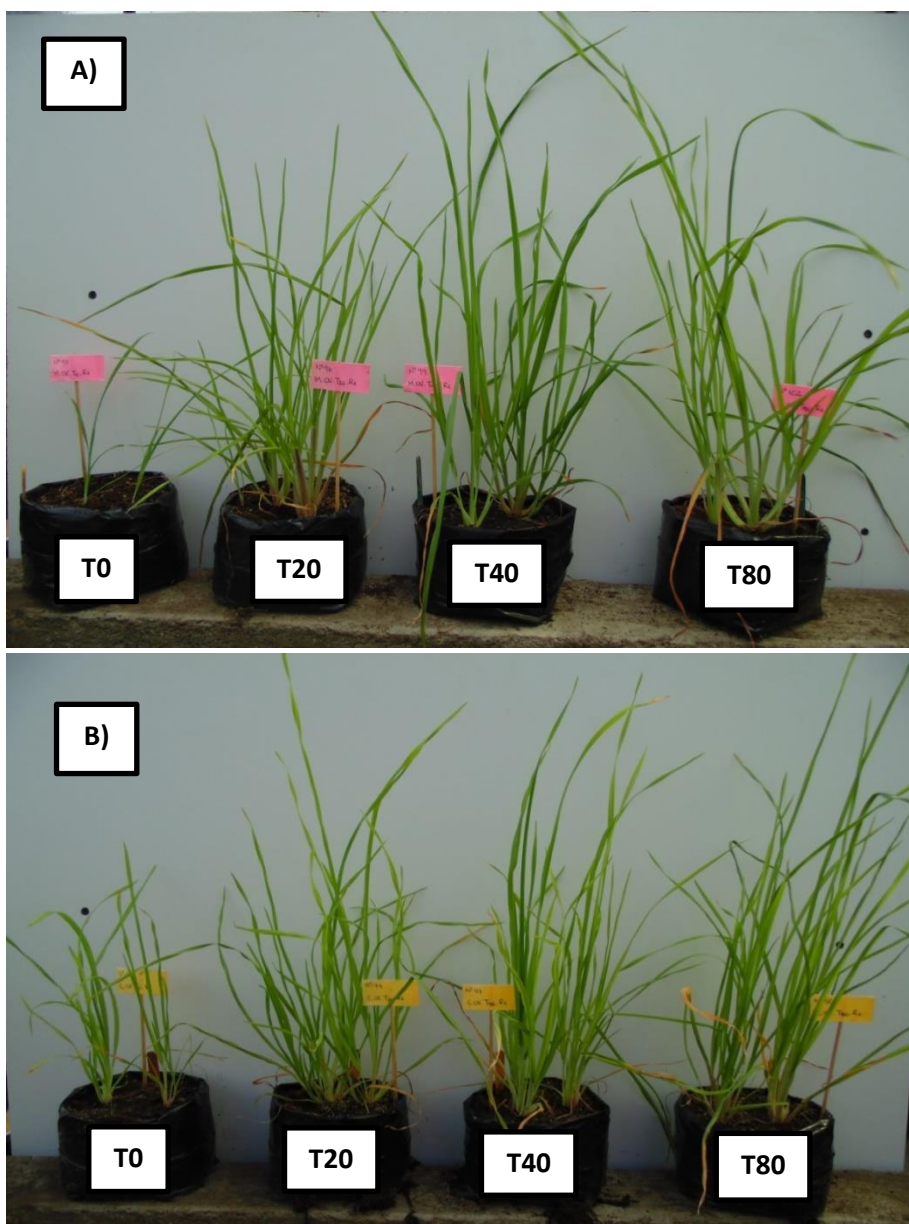


- RODRIGUEZ, J. 1992. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 362 p.
- ROMÁN, S.S, TALADRIZ, L.A Y ARAOS, J.F. 2001. Fertilizantes, Enmiendas y Abonos Orgánicos para la Agricultura Chilena. *In: Agenda del Salitre. Sociedad Química y Minera de Chile S.A.* 233 – 267 p.
- RUZ, E. Y CAMPILLO, R. (Ed). Fertilización de Praderas. *In: RUIZ, I.* 1996. Praderas para Chile. Santiago. 619 – 238 pp.
- SAEZ, C. 1995. Fertilidad de los suelos de la Región de Magallanes. Universidad de Magallanes. Escuela de Ciencia y Tecnología en Recursos Agrícolas y Acuícolas. 32 p.
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 2003. El pastizal de Tierra del Fuego: guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para determinación de tendencia. Proyecto FNDR-SAG XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. Chile. 117 p.
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 2004. El pastizal de Magallanes: guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para determinación de tendencia. Proyecto FNDR-SAG XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. Chile. 129 p.
- SAGER, M. 2012. Levels of sulfur as an essential nutrient element in the soil – crop – food system in Austria. *Agriculture.* 11 p.
- SHENEITER, O. Y RIMIERY, P. 2001. Herbage accumulation, tiller population density, and sward components of prairie grass under different nitrogen levels. *New Zealand Journal of Agriculture Research.* Vol. 44. 13 – 22 pp.
- SCHENKEL, G., BACHERLE, P., FLOODY H Y GAJARDO, M. 1974. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XVI. Macronutrientes, provincia de Magallanes, Continente. *Agricultura Técnica* Vol. 34, N° 2. 68 – 83 pp.
- SCHERER, H.W., PACYNA, S., MANTHEY, N. Y SCHULZ, M. 2006. Sulphur supply to peas (*Pisum sativum* L.) influences symbiotic N<sub>2</sub> fixation. *Agriculture Faculty of the University of Bonn, Germany. Plant Soil Environment.* 71 – 77 pp.

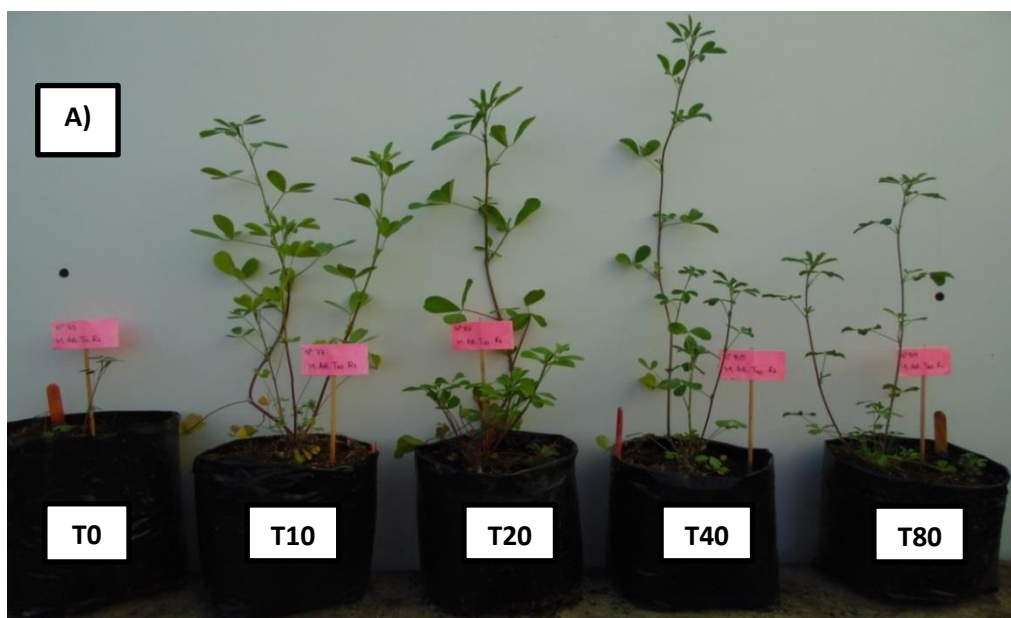
- SILVIERA, C., ALVES, D., BONFIM-SILVA, E Y MONTEIRO, F. 2011. Two years of nitrogen and sulfur fertilizations in a signal grass pasture under degradation: changes in the root system. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 40. 1195 – 1203 pp.
- STRAUCH, O. Y COVACEVICH, N. 2001. Antecedentes para el establecimiento y regeneración de praderas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Estación Experimental Kampenaike. Boletín N°1. 32 p.
- STULEN, I. Y KOK, L.J. 2012. Foreword: Exploring Interactions Between Sulfate and Nitrate Uptake at a Whole Plant Level. *In: KOK, L., TAUSZ, M., HAWKESFORD, M., HOEFGEN, R., MCMANUS, M., NORTON, R., RENNENBERG, H., SAITO, K., SCHUNG, E Y TABE, L. (Ed). Sulfur Metabolism In Plants. Mechanisms and Applications to Food and Security and Responses to Climate Changes. 1 – 10 pp.*
- URIBE, I. 2004. Manual de terreno, Identificación de especies en pastizales de la XII región. Programa protección y recuperación de pastizales XII región. Fondo de desarrollo regional de la duodécima región, FNDR. Servicio agrícola y ganadero, SAG. Punta Arenas, Chile. 148 p.
- VAIERETTI, V., DÍAZ S., VILE D. Y GARNIER E. (2007). Two Measurement Methods of Leaf Dry Matter Content Produce Similar Results in a Broad Range of Species. *Annals of Botany*. 99: 955–958 pp.
- WANG, Y. F., WANG, S.P., CUI, Z.Z., CHEN, E., SCHNUG, E Y HANEKLAU, S. 2003. Effect of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*. Issue 58. 160 – 167 pp.
- WHITEHEAD, D. 2000. Nutrient Elements in Grassland. Soil- Plant- Animal Relationships. CABI Publishing. 154 – 180 p.
- YUNAS, M., YOUSAF, M., KHALID, R Y NAWAZ, S. 2010. Effect of sulfur application on soil sulfur (SO<sub>4</sub>-S) status in different textured soils of Pothwar. *Soil Science Society of Pakistan. Soil & Environment*. Vol. 29. 7- 10 pp.

## **ANEXOS**

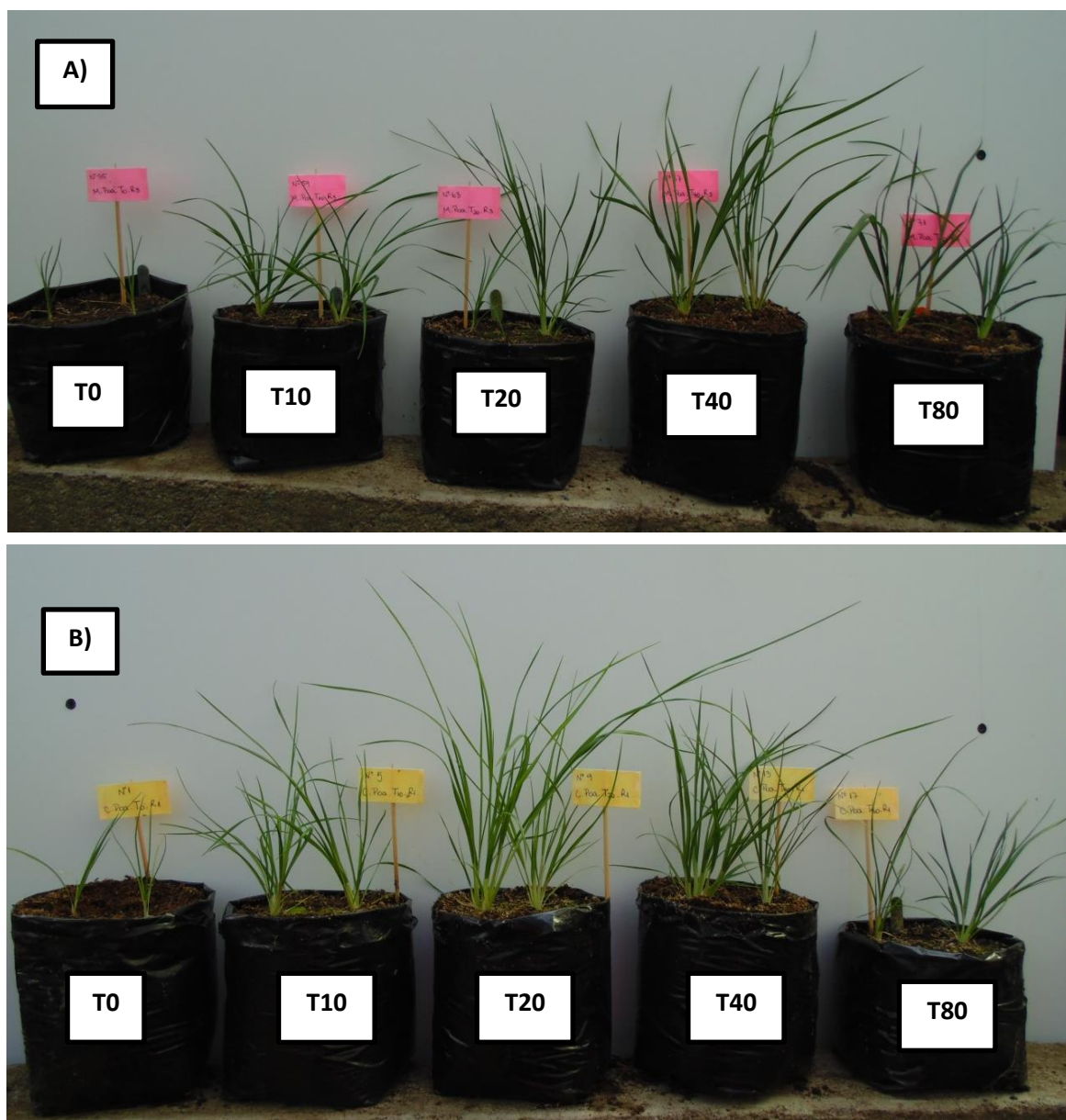
**Anexo 1.** Plantas de la especie *Dactylis glomerata*, indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup> respectivamente), en los dos tipos de suelos evaluados murtilla (A) y coirón (B).



**Anexo 2.** Las imágenes corresponden a la especie *Medicago sativa* en los dos tipos de suelos evaluados; murtilla (A) y coirón (B), indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup> respectivamente).



**Anexo 3.** Las imágenes corresponden a la especie *Poa flabellata*, indicando las dosis de azufre aplicadas (T0, T20, T40 y T80 para 0, 20, 40 y 80 kg de S ha<sup>-1</sup> respectivamente. La imagen A corresponde al suelo de murtillo (*E. rubrum*) y la imagen B al suelo de coirón (*F. gracillima*).



**Anexo 4.** Temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) diarias (promedio, máxima y mínima registradas) durante el desarrollo del estudio desde el 16-10-2014 al 19-11-2014.

| <b>Fecha</b> | <b>T°C promedio</b> | <b>T°C máx</b> | <b>T°C min</b> | <b>HR (%) promedio</b> | <b>HR (%) máx</b> | <b>HR (%) min</b> |
|--------------|---------------------|----------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 16-10-2014   | 22,7                | 25,8           | 20,1           | 39,4                   | 43,8              | 36,7              |
| 17-10-2014   | 21,3                | 22,9           | 19,1           | 38,0                   | 43,2              | 32,0              |
| 18-10-2014   | 20,7                | 23,0           | 16,9           | 39,2                   | 47,7              | 36,3              |
| 19-10-2014   | 19,7                | 21,7           | 17,5           | 41,6                   | 39,0              | 48,9              |
| 20-10-2014   | 21,3                | 23,6           | 18,8           | 45,3                   | 48,5              | 43,2              |
| 21-10-2014   | 21,9                | 24,3           | 19,0           | 42,5                   | 46,9              | 37,3              |
| 22-10-2014   | 21,1                | 23,8           | 17,5           | 38,2                   | 42,9              | 31,8              |
| 23-10-2014   | 20,9                | 23,1           | 17,9           | 37,6                   | 41,3              | 34,7              |
| 24-10-2014   | 21,7                | 24,3           | 18,9           | 38,6                   | 43,4              | 34,1              |
| 25-10-2014   | 20,2                | 22,8           | 18,7           | 40,9                   | 43,2              | 38,8              |
| 26-10-2014   | 20,1                | 23,0           | 17,7           | 41,9                   | 48,5              | 36,7              |
| 27-10-2014   | 19,9                | 23,3           | 17,6           | 39,6                   | 42,1              | 37,6              |
| 28-10-2014   | 20,2                | 24,1           | 17,0           | 38,5                   | 41,9              | 33,0              |
| 29-10-2014   | 18,7                | 22,0           | 15,3           | 38,1                   | 43,3              | 35,9              |
| 30-10-2014   | 15,2                | 18,6           | 12,3           | 41,8                   | 46,5              | 36,2              |
| 31-10-2014   | 19,2                | 21,3           | 15,4           | 36,7                   | 39,8              | 33,7              |
| 1-11-2014    | 21,5                | 25,4           | 17,1           | 36,1                   | 38,6              | 34,8              |
| 2-11-2014    | 23,4                | 26,1           | 19,2           | 36,4                   | 38,7              | 33,9              |
| 3-11-2014    | 22,6                | 24,8           | 20,3           | 36,3                   | 41,2              | 32,6              |
| 4-11-2014    | 21,7                | 24,6           | 19,4           | 33,7                   | 39,0              | 29,9              |
| 5-11-2014    | 21,7                | 24,6           | 19,5           | 38,0                   | 44,4              | 34,3              |
| 6-11-2014    | 22,8                | 26,6           | 19,6           | 38,1                   | 41,7              | 33,0              |
| 7-11-2014    | 21,3                | 23,2           | 19,3           | 36,2                   | 38,2              | 31,2              |
| 8-11-2014    | 21,7                | 25,1           | 17,2           | 38,3                   | 40,5              | 36,4              |
| 9-11-2014    | 21,7                | 26,0           | 19,0           | 40,2                   | 42,9              | 36,7              |
| 10-11-2014   | 17,4                | 22,5           | 7,2            | 48,8                   | 76,2              | 27,8              |
| 11-11-2014   | 13,3                | 25,4           | 4,6            | 62,8                   | 84,2              | 40,0              |
| 12-11-2014   | 14,7                | 30,7           | 5,4            | 69,7                   | 86,7              | 36,9              |
| 13-11-2014   | 15,1                | 33,2           | 9,6            | 74,0                   | 87,6              | 36,8              |
| 14-11-2014   | 13,1                | 24,1           | 7,5            | 72,2                   | 89,7              | 46,1              |
| 15-11-2014   | 14,5                | 28,6           | 3,7            | 59,6                   | 83,0              | 36,9              |
| 16-11-2014   | 15,7                | 25,8           | 7,6            | 60,4                   | 14,5              | 41,9              |
| 17-11-2014   | 14,5                | 25,5           | 7,5            | 66,1                   | 82,3              | 42,6              |



**Anexo 5.** Temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) diarias (promedio, máxima y mínima registradas) durante el desarrollo del estudio desde el 18-11-2014 al 15-12-2014.

| <b>Fecha</b> | <b>T°C promedio</b> | <b>T°C máx</b> | <b>T°C min</b> | <b>HR (%) promedio</b> | <b>HR (%) máx</b> | <b>HR (%) min</b> |
|--------------|---------------------|----------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 18-11-2014   | 12,2                | 26,0           | 4,6            | 71,7                   | 85,8              | 45,5              |
| 19-11-2014   | 12,0                | 17,8           | 8,1            | 78,3                   | 89,2              | 59,0              |
| 20-11-2014   | 15,8                | 28,7           | 8,2            | 70,0                   | 89,4              | 45,4              |
| 21-11-2014   | 16,7                | 30,7           | 10,1           | 69,1                   | 82,4              | 43,5              |
| 22-11-2014   | 12,1                | 20,2           | 7,9            | 78,5                   | 88,2              | 63,5              |
| 23-11-2014   | 12,0                | 22,4           | 6,3            | 73,8                   | 88,1              | 56,5              |
| 24-11-2014   | 15,2                | 28,9           | 6,4            | 67,0                   | 86,5              | 43,9              |
| 25-11-2014   | 12,6                | 26,3           | 6,9            | 73,6                   | 86,1              | 46,7              |
| 26-11-2014   | 15,3                | 27,0           | 6,3            | 72,2                   | 91,8              | 51,2              |
| 27-11-2014   | 16,1                | 29,8           | 9,4            | 75,8                   | 92,2              | 43,5              |
| 28-11-2014   | 15,5                | 27,2           | 7,7            | 67,8                   | 84,8              | 46,7              |
| 29-11-2014   | 15,9                | 27,8           | 6,4            | 68,0                   | 85,1              | 42,9              |
| 30-11-2014   | 16,8                | 31,4           | 10,5           | 71,2                   | 87,4              | 43,8              |
| 1-12-2014    | 16,7                | 26,6           | 10,4           | 70,7                   | 88,8              | 47,9              |
| 2-12-2014    | 17,9                | 30,2           | 10,5           | 69,4                   | 88,9              | 43,9              |
| 3-12-2014    | 16,2                | 28,5           | 9,3            | 70,2                   | 85,1              | 45,6              |
| 4-12-2014    | 18,9                | 31,2           | 9,6            | 69,1                   | 91,5              | 42,7              |
| 5-12-2014    | 18,9                | 37,1           | 9,0            | 64,8                   | 86,6              | 33,2              |
| 6-12-2014    | 16,9                | 30,5           | 7,8            | 63,1                   | 83,9              | 41,3              |
| 7-12-2014    | 17,2                | 27,3           | 9,2            | 64,7                   | 82,7              | 45,5              |
| 8-12-2014    | 16,1                | 25,8           | 7,5            | 66,6                   | 83,7              | 48,1              |
| 9-12-2014    | 15,4                | 26,3           | 7,8            | 66,7                   | 86,9              | 41,9              |
| 10-12-2014   | 14,7                | 25,3           | 9,5            | 69,2                   | 81,4              | 48,7              |
| 11-12-2014   | 13,5                | 23,9           | 8,1            | 70,9                   | 83,7              | 53,0              |
| 12-12-2014   | 16,2                | 29,5           | 7,9            | 65,9                   | 81,5              | 45,0              |
| 13-12-2014   | 21,1                | 34,2           | 9,8            | 61,2                   | 80,3              | 42,4              |
| 14-12-2014   | 21,3                | 33,0           | 9,7            | 62,2                   | 83,9              | 41,2              |
| 15-12-2014   | 19,6                | 30,9           | 11,2           | 64,4                   | 90,0              | 38,1              |