

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE AGRONOMIA**



**TOXICIDAD DE SULFATO EN PLANTAS DE *LOLIUM MULTIFLORUM* Y  
*FESTULOLIUM* SPP.**

**POR**

**ISABEL ANDREA CONSTANZA LLANOS LEAL**

**MEMORIA DE TÍTULO PRESENTADA A  
LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA  
AGRÓNOMA.**

**CHILLÁN – CHILE  
2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**TOXICIDAD DE SULFATO EN PLANTAS DE LOLIUM MULTIFLORUM Y  
FESTULOLIUM SPP.**

**POR**

**ISABEL ANDREA CONSTANZA LLANOS LEAL**

**MEMORIA DE TÍTULO PRESENTADA A  
LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA  
AGRÓNOMA.**

**CHILLÁN – CHILE  
2024**

Aprobada por:

Profesor Asistente, Christian Guajardo F.  
Ing. Agrónomo, Dr.

---

Guía

Profesor Asociado, Marco Sandoval E.  
Ing. Agrónomo, Mg. Sc., Dr. Cs. Ambientales

---

Asesor

Profesor Asistente, Winfred Espejo C.  
Médico Veterinario, Dr. Cs. Ambientales

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y métodos.....	4
Resultados y discusión.....	8
Conclusiones.....	15
Referencias.....	15
Anexos.....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1	Concentraciones de sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) utilizadas en los experimentos.....	6
Tabla 2	Influencia del uso de sulfato en longitud radicular de semillas de <i>Raphanus sativus</i> en diferentes concentraciones de sulfato.....	9
Tabla 3	Respuesta de peso masa seca total a las diferentes concentraciones de sulfato aplicadas en <i>Lolium multiflorum</i> y <i>Festulolium</i> spp.....	10
Figura 1	Medición de nivel de clorofila en unidades SPAD en <i>Lolium multiflorum</i> (a) y <i>Festulolium</i> spp.....	11
Tabla 4	Influencia del uso de sulfato sobre el suelo en diferentes concentraciones finalizado el establecimiento de <i>Lolium multiflorum</i> y <i>Festulolium</i> spp.....	13
Tabla 5	Influencia del uso de sulfato sobre el resultado de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en porcentaje del análisis foliar de peso de materia seca en diferentes concentraciones finalizado el experimento de <i>Lolium multiflorum</i> (a) y <i>Festulolium</i> spp.(b).....	14

## **TOXICIDAD DE SULFATO EN PLANTAS DE *LOLIUM MULTIFLORUM* Y *FESTULOLIUM* SPP.**

SULFATE TOXICITY IN *LOLIUM MULTIFLORUM* AND *FESTULOLIUM* SPP. PLANTS

**Palabras índice adicionales:** azufre, ballica anual, *Festulolium*, praderas, forraje.

### **RESUMEN**

La fitotoxicidad puede causar síntomas visibles de pérdida de área foliar, disminución de fotosíntesis y humedad de la planta y por consecuencia disminución de productividad de la planta. Por ello, se realizó un experimento bajo condiciones controladas en invernadero cuyo objetivo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de sulfato en *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. debido a que se desconoce la toxicidad de sulfato en ellas. El experimento consideró un diseño de bloques completamente al azar de quince macetas, compuesto por cuatro tratamientos cuyas dosis de sulfato fueron: 100, 250, 600 y 2160 mg de  $\text{SO}_4^- \text{L}^{-1}$  y un control de agua destilada, con tres repeticiones por tratamiento. Las evaluaciones realizadas fueron peso materia seca (g maceta<sup>-1</sup>), nivel de clorofila (unidades SPAD), análisis foliar (N, P, K y S), químico de suelos (S disponible) y un experimento de fitotoxicidad en *Raphanus sativus*. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) los parámetros de peso de materia seca, nivel de clorofila y análisis foliar. No obstante, si presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) para el parámetro de análisis químico de suelo en ambas especies. Concluyendo que el uso de sulfato no afectó el comportamiento productivo de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. en las dosis probadas.

### **SUMMARY**

Phytotoxicity can cause visible symptoms of loss of leaf area, decreased photosynthesis and humidity of the plant and, consequently, decreased productivity

of the plant. Therefore, an experiment was carried out under controlled conditions in a greenhouse whose objective was to evaluate the effect of different concentrations of sulfate on *Lolium multiflorum* and *Festulolium* spp. because the sulfate toxicity in them is unknown. The experiment considered a completely randomized block design of fifteen pots, composed of four treatments whose sulfate doses were: 100, 250, 600 and 2160 mg of  $\text{SO}_4^- \text{L}^{-1}$  and a control of distilled water, with three repetitions per treatment. The evaluations carried out were dry matter weight ( $\text{g pot}^{-1}$ ), chlorophyll level (SPAD units), foliar analysis (N, P, P and S), soil chemistry (available S) and a phytotoxicity experiment in *Raphanus sativus*. There were no statistically significant differences ( $P > 0.05$ ) in the parameters of dry matter weight, chlorophyll level and leaf analysis. However, they did present statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) for the soil chemical analysis parameter in both species. Concluding that the use of sulfate did not affect the productive behavior of *Lolium multiflorum* and *Festulolium* spp. in the doses tested.

## INTRODUCCIÓN

El azufre es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos. Tiene funciones fisiológicas importantes al ser el constituyente básico de tres aminoácidos (cistina, cisteína y metionina), que intervienen directamente en la producción de proteínas. Además, participa en el proceso de formación de clorofila, azúcares, raíces, producción de semilla, grasas y vitaminas (Colacelli, 2001; Leal, 2017). Se presenta de dos formas, orgánica e inorgánica. El azufre inorgánico se encuentra en forma de sulfato de azufre, que es la forma inmediatamente disponible (en días o semana), representando menos del 5 % de azufre disponible para la planta. El azufre orgánico que está relacionado con el contenido de materia orgánica, es la forma disponible a lo largo de meses o años, puede ser mineralizada por microorganismos del suelo en sulfato de azufre para estar disponibles en ese tiempo para las plantas. Presenta más de 95 % del azufre del suelo y su contenido no es afectado por lixiviación o aplicación de fertilizantes azufrados. En medios reducidos por la acción de bacterias anaeróbicas se acumulan sulfuros y ácido sulfhídrico, mientras que en suelos aireados el producto

final son los sulfatos originados por acción de microorganismos aeróbicos. El proceso de mineralización es el conjunto de reacciones biológicas que transforman el azufre orgánico en compuestos inorgánico (Baquero *et al.*, 2012). Cuando el pH es mayor a 5,5 de la solución del suelo determina si está o no disponible para las plantas. A medida que disminuye el pH de la solución del suelo, el azufre deja de estar disponible para las plantas, generando crecimiento lento y disminuyendo la producción del cultivo y/o praderas, debido a deficiencias de azufre en el suelo (Vistoso y Martínez, 2020). Las plantas absorben el azufre en forma de aniones de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) que se encuentra en la solución del suelo y como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) por difusión a través de los estomas de las hojas, siendo ambas formas metabolizadas por las plantas (Cerveñansky, 2011).

Los beneficios de fertilización con azufre son: incremento en la concentración de proteína cruda en forrajes, mejoramiento de la calidad harinera de los cereales, incremento en el contenido de aceite en oleaginosas, mayor uniformidad y calidad de hortalizas, mayor vida útil de parcelas de leguminosas forrajeras, incremento en la resistencia al frío y tolerancia a sequía (Benavides, 1998).

La fitotoxicidad que puede generar el azufre en cultivos, cómo en maíz, es parcialmente visible debido que necesita azufre en bajas cantidades para desarrollarse, en las cuales un pequeño aumento puede generar síntomas visibles, y tiene repercusiones en el desarrollo del cultivo, como es la pérdida de área foliar, disminución de fotosíntesis y disminución de la humedad de la planta, además de disminuir la productividad (Eaton, 1942). La Norma Chilena N° 1333 (1987) establece las concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego. Para sulfato tiene límite máximo de  $250 \text{ mg L}^{-1}$ .

La superficie total de praderas en Chile según cifras del Censo Agropecuario es de 8.590.428 ha, las cuales se encuentran como praderas naturales con una superficie de 8.062.137 ha, y praderas mejoradas con una superficie productiva de 528.291 ha; donde la Región de Ñuble tiene 14.954 ha, de las cuales 10.284 corresponden al Valle Central Regado (INE, 2022). El ganado se alimenta principalmente de forrajes, en estado fresco (pastoreo o soiling) o conservado (heno o ensilaje). El forraje se obtiene de dos principales familias; gramíneas y

leguminosas. Las gramíneas o Poaceae son plantas anuales o perennes de tallos herbáceos o leñosos, con nudos y entrenudos muy marcados. Las especies más utilizadas son *Lolium* y *Festuca* (Ruiz, 1996; Aedo, 1996).

La hipótesis de esta investigación es la exposición a concentraciones sobre 250 mg L<sup>-1</sup> (concentración máxima de norma chilena) de sulfato en el agua de riego provoca efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp., manifestándose en síntomas visibles de toxicidad (como clorosis, necrosis y disminución del crecimiento). El objetivo general del experimento es evaluar el efecto de diferentes concentraciones de sulfato en plantas de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. y los objetivos específicos son; evaluar comportamiento de las plantas forrajeras en distintas concentraciones de sulfato en agua de riego y describir la sintomatología de las diferentes concentraciones de sulfato que genera en plantas de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción general**

Ballica anual (*Lolium multiflorum*) pertenece a la familia Poaceae. Es una especie de crecimiento erecto de gran capacidad de macollar y tiene un sistema radicular superficial y fibroso. Posee hojas más largas y anchas que ballica perenne, son de color verde claro, con los nervios de la hoja marcados, el envés muy brillante y carecen de vellos. La vaina abraza el tallo, tiene dos aurículas largas en forma de garras, y una lígula visible. Las hojas aparecen enrolladas en el interior de la vaina, los tallos tienen sección circular y la base es de color rojizo. Su objetivo de utilización es; pastoreo, soiling invernal y conservación de forraje (Demagnet, 2018). Tiene buena adaptabilidad a gran variedad de suelos de textura media (franco arcilloso) a pesada (arcilloso), con pH entre 5 y 7, con buena retención de humedad, suelos fértiles y de buen drenaje (Teuber, 2000). Presenta una temperatura óptima de crecimiento es entre 20 y 30 °C y temperatura tolerable para crecimiento vegetativo 15 - 35 °C (IREN, 1982). Se utilizaron semillas de ballica anual var. Peletón, presenta una persistencia de 12 meses, es una variedad tetraploide y se recomienda una dosis de siembra de 35 kg ha<sup>-1</sup> (SG 2000, 2023).

*Festulolium* (*Festulolium* spp.) es resultado de un cruzamiento entre *Lolium multiflorum* x *Festuca* spp. (INIA, 2010). Es una planta de hojas anchas, color verde oscuro, de hábito de crecimiento semipostrado. Los cultivares de *Festulolium* presentan características de ambas especies (Demagnet, 2019). La cruce entre estas dos especies da un resultado de una alta calidad nutritiva y gran producción invernal, así como mayor persistencia, tolerancia a estrés hídrico, térmico en verano y anegamiento, logrando una mayor producción estival. Tiene persistencia mayor a tres años, especie tetraploide, una dosis de siembra de 30 kg ha<sup>-1</sup>. Ideal para uso intensivo en crianza, engorda de ganado y lecherías. Se adapta a suelos francos a arcillosos que sean húmedos con pH de 5,5 a 8. Precipitación requerida de 700 mm con lluvias en otoño y primavera (SG 2000, 2022).

Las evaluaciones de toxicidad de azufre en plantas de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. se realizaron en condiciones controladas de invernadero, para lo cual se establecieron dos experimentos paralelos. Se realizaron aplicaciones en dosis crecientes de sulfato el cual se incorporó al suelo contenido en macetas y otro experimento de fitotoxicidad con la finalidad de establecer el efecto de dosis creciente de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> en semillas de rábano.

El estudio se realizó en el invernadero de Edafología Ambiental del Departamento de Suelos y Recursos naturales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción sede Chillán, Chile.

### **Suelo**

El suelo utilizado en los experimentos corresponde a la serie Arrayán, formado a partir de cenizas volcánicas. Presenta clase textural franco limosa, con abundante porosidad, tiene permeabilidad moderada y un escurrimiento superficial lento (Stolpe, 2006). Las muestras fueron tomadas en la Estación Experimental “El Nogal” de la Universidad de Concepción. Lo que se encuentra emplazada en la ciudad de Chillán, Chile, en la zona geográfica de la depresión central. 36°35'773”S y 72°04'774” O.

### **Siembra en maceta**

Previo a la siembra se realizó una prueba de germinación (Anexo 1). Luego, se sembró un gramo de semillas por maceta en un kilogramo de suelo tamizado a 2

mm para ambos experimentos.

### Fertilización

De acuerdo con los análisis químicos de suelo realizados por el Laboratorio de Análisis Químico de suelos y plantas del Departamento de Suelos y Recursos Naturales de la Universidad de Concepción sede Chillán, Chile se procedió a mejorar en forma manual los niveles de fertilidad a condiciones productivas óptimas mediante la aplicación de 0,74 g maceta<sup>-1</sup> a la forma de Súper urea + (16 % N).

### Tratamientos en maceta

Los tratamientos para cada especie consideraron soluciones de 100, 250, 600 y 2160 mg de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> L<sup>-1</sup> y un control de agua destilada; las diferentes soluciones de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> se prepararon a partir de una solución madre 0,045 N de ácido sulfúrico a pH 6,63 (Tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) utilizadas en los experimentos.

Tratamiento	ml solución 0,045 N	100 ml H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Normalidad
0	0		0	0
1	4,67		100	0,0021
2	11,57		250	0,0052
3	27,78		600	0,0125
4	Directo		2160	0,045

Directo: 100 ml solución 0,045 N 100 ml H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>.

### Riego

La humedad del suelo en ambas especies (*Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.) se mantuvo a 1/3 atmósfera; en cada uno de los tratamientos, mediante la aplicación de las respectivas soluciones de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> para cada tratamiento.

### Temperatura y Humedad Relativa

Se tomaron registros de temperatura y humedad relativa del ambiente con el termohigrómetro (Garden Highpro, modelo Basic; Anexo 2). La temperatura al intervenir en el establecimiento de las especies puede retrasar el crecimiento y comenzar estados reproductivos. La temperatura mínima dentro del invernadero fue de 1,1 °C en junio 2023 y la temperatura máxima fue de 47 °C en octubre 2023. La temperatura promedio en el mes de marzo a octubre 2023 de 17 °C, con una

humedad relativa promedio de 64 %.

### **Evaluaciones**

**Corte y pesaje.** Se evaluó la producción de materia seca mediante el corte y pesaje para determinar la cantidad de forraje disponible que presenta la pradera (Canseco *et al.*, 2007). Se realizó el corte del forraje a 5 cm de altura en cada una de las macetas, se recolectó el forraje cortado, se rotuló y envasó en bolsas de papel (por tratamiento y repetición). Se registró el peso de materia verde de cada bolsa antes de ser ingresado al horno. Se ingresó al horno para secado a 65 °C por 48 horas; posterior al secado se registró el peso de materia seca de cada una de las bolsas. Se consideraron nueve cortes para los experimentos, espaciados cada un mes, y finalizado se obtuvo el peso de materia seca total con la suma de los nueve cortes en cada tratamiento para cada una de las especies.

**Nivel de clorofila.** En los experimentos de las especies se realizaron mediciones de nivel de clorofila mediante el instrumento SPAD (marca Minolta, modelo 502 Plus) que dieron como resultado valores de SPAD (Soil Plant Analysis Development). El instrumento evalúa la cantidad de clorofila presente en la hoja de una planta. Los valores se evalúan respecto a la cantidad de absorbancia de la hoja en dos zonas de longitudes de onda (rojo 650 nm e infrarrojo 940 nm) (Minolta, 2009).

Se realizaron cinco mediciones de nivel de clorofila previo al corte número seis y siete de forraje. La medición se realizó en la zona intermedia de la hoja bandera, obteniendo un promedio de cada una de ellas.

**Análisis foliar y químico de suelos.** Finalizado los experimentos se realizaron análisis foliares de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Azufre y análisis químico de suelo de azufre disponible, para todos los tratamientos. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico de suelos y plantas del Departamento de Suelos y Recursos Naturales.

**Experimento de fitotoxicidad de *Raphanus sativus*.** Previo a todas las evaluaciones en las especies forrajeras se realizó el experimento considerando diez tratamientos, un control y las siguientes concentraciones de sulfato de 100 mg L<sup>-1</sup>, 200 mg L<sup>-1</sup>, 250 mg L<sup>-1</sup>, 300 mg L<sup>-1</sup>, 400 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup>, 800 mg L<sup>-1</sup>, 1000 mg L<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup> y 2160 mg L<sup>-1</sup>. Luego mediante pipeta se tomaron 4 ml de cada concentración y se aplicaron a tres placas Petri, en cuyo interior se dispuso un disco de papel filtro Whatman N° 3 y 10 semillas de *Raphanus sativus* (Celis *et al.*, 2008). Las placas se ingresaron a la cámara de germinación por 120 horas a 20 ± 2 °C. Finalizando este período, se contaron las semillas germinadas, se registró también cambio de color en la plántula. Además, se midió longitud radicular y se evaluó la fitotoxicidad mediante el índice de germinación. Para ello se utiliza la ecuación:

$$\% \text{ IG} = \frac{(G * L)}{(G_c * L_c)} * 100$$

Donde:

IG= índice de germinación

G= promedio de semillas germinadas por tratamiento

L= promedio de longitud de radículas

G<sub>c</sub>= promedio de semillas germinadas en H<sub>2</sub>O

L<sub>c</sub>= promedio de longitud de radículas en H<sub>2</sub>O

**Diseño y análisis estadístico.** En los experimentos se implementó un diseño de bloque completamente al azar para los cuatro tratamientos y un control de agua destilada, con tres repeticiones para cada especie. En el experimento de fitotoxicidad se implementó un diseño de bloque completamente al azar para los diez tratamientos con tres repeticiones en *Raphanus sativus*.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) previa comprobación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza con la prueba de normalidad (Kruskal-Wallis y Levenberg-Marquardt respectivamente). En los casos que las variables sean significativas se utilizará la prueba comparación de medias Tukey con un nivel de significancia del 5 % (Balzarini *et al.*, 2008). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico INFOSTAT, versión año 2020.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Experimento fitotoxicidad en semillas de *Raphanus sativus*

Se observó que el uso de sulfato con mayor dosis alteró la longitud radicular en comparación al control sin sulfato, alcanzando una diferencia significativa (P = 0,0008) de 53,29 % en favor del control (Tabla 2). Sin embargo, las dosis de 100

mg L<sup>-1</sup>, 200 mg L<sup>-1</sup> y 250 mg L<sup>-1</sup>, no afectaron el desarrollo radicular con relación al tratamiento control. Contrariamente, las dosis de 600 mg L<sup>-1</sup>, 800 mg L<sup>-1</sup>, 1000 mg L<sup>-1</sup> y 2160 mg L<sup>-1</sup> redujeron la longitud radicular de manera significativamente ( $P < 0,05$ ), al comparar estas longitudes con los tratamientos indicados previamente.

El porcentaje de índice de germinación permite evaluar la fitotoxicidad presente en *Raphanus sativus*, siendo un indicador más completo para ser evaluada, ya que contempla el porcentaje de germinación, y la longitud radicular entre el control y la dosis aplicada. Los valores de IG mayor o igual a 80 % indicaría que no se encuentran sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración, valores de igual o menor a 50 % indicaría que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas, y valores entre 50 % y 80 % indicaría una moderada o leve presencia de sustancias fitotóxicas (Zucconi *et al.*, 1981). Por lo tanto, los tratamientos de 300 mg L<sup>-1</sup>, 400 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup> y 800 mg L<sup>-1</sup> tienen una toxicidad leve, y los tratamientos de 1000 y 2160 mg L<sup>-1</sup> presentan toxicidad de sulfato.

Tabla 2. Influencia del uso de sulfato en longitud radicular, porcentaje de germinación e índice de germinación de semillas de *Raphanus sativus* en diferentes concentraciones de sulfato.

SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Longitud radicular (cm)	% Germinación	% IG
Control	8,35 ab	96,6	100
100	8,63 a	90	103,4
200	7,87 ab	96,6	104,7
250	7,70 abc	90	92
300	6,40 bcd	93,3	76,6
400	7,00 abcd	83,3	72
600	5,77 cde	86,7	66,3
800	5,47 de	96,6	58,5
1000	4,58 ef	90	48,8
2160	3,90 f	86,7	41,4
P- valor	0,0008		
CV	17,66		

Letras distintas en cada columna muestran diferencias significativas entre tratamientos. Las variables fueron sometidas a un test LSD Fisher con un nivel de confianza del 95%.

Respecto de las mediciones del porcentaje de germinación los resultados obtenidos tuvieron un valor similar a 93 % de germinación en las observaciones de la morfología de *Raphanus sativus* para estudios de fitotoxicidad realizado por Taladrid y Espinoza (2021).

### **Peso materia seca total y nivel de clorofila (SPAD)**

La materia seca total, evaluada como respuesta a las diferentes concentraciones de sulfato, en ambas especies utilizadas para los tratamientos en el experimento, no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; Tabla 3).

Tabla 3. Respuesta de peso materia seca total a las diferentes concentraciones de sulfato aplicadas en *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.

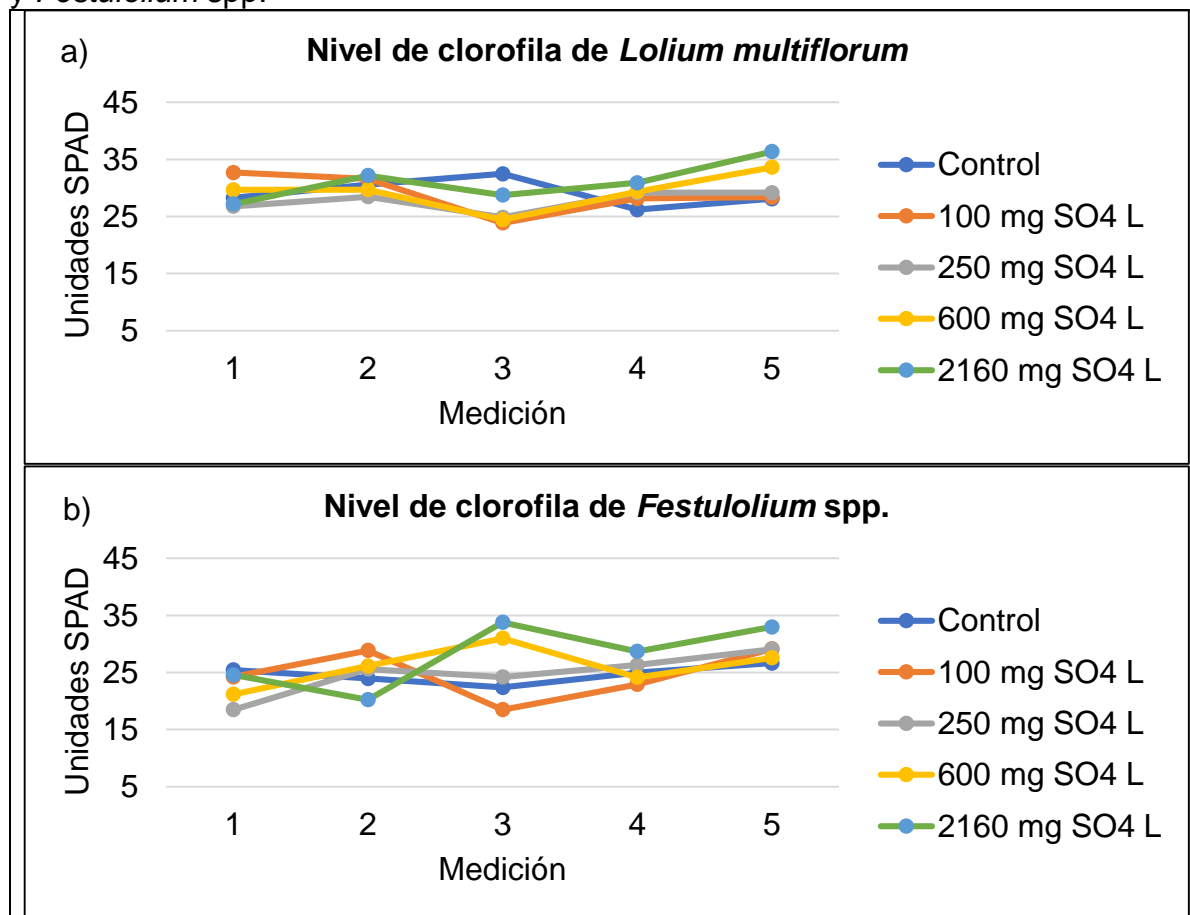
a) <i>Lolium multiflorum</i>	
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Peso materia seca (g maceta <sup>-1</sup> )
Control	0,80
100	0,73
250	0,70
600	0,83
2160	0,75
P- valor	0,58 ns
CV	39,73
b) <i>Festulolium</i> spp.	
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Peso materia seca (g maceta <sup>-1</sup> )
Control	0,65
100	0,75
250	0,74
600	0,77
2160	0,76
P- valor	0,68 ns
CV	44,23

De la misma manera, los valores promedio de SPAD no indicaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados, lo que indicaría que las

diferentes concentraciones de sulfato no afectaron a la producción de biomasa y los niveles de clorofila considerando las concentraciones de sulfato aplicadas.

Debido al mecanismo de resistencia de la salinidad de las plantas, en especies tolerantes como *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp., se ve reflejado que la salinidad provocada por las aplicaciones de concentraciones de sulfato no afecta la producción de estas especies, por lo que pueden seguir desarrollándose y completar su ciclo sin disminuir su rendimiento (Ramírez y Hernández, 2016). Contrariamente una especie sensible como *Raphanus sativus*, evidenció toxicidad de sulfato en el comienzo de su desarrollo, en la germinación, longitud radicular e índice de germinación debido a un desbalance nutricional en la planta e inducción al estrés hídrico (Lamz y González, 2013).

Figura 1. Medición de nivel de clorofila en unidades SPAD en *Lolium multiflorum* (a) y *Festulolium* spp.



Fecha de evaluación (medición) (1): 12 septiembre 2023, (2): 14 septiembre 2023, (3): 25 septiembre 2023, (4): 28 septiembre 2023 y (5): 10 octubre 2023.

De igual manera que en el peso de materia seca total obtenido, las mediciones de nivel de clorofila realizadas previas al corte seis y siete, en ambas especies para los tratamientos durante el experimento, se observó que la aplicación de sulfato en *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp., no fue significativo estadísticamente ( $P < 0,05$ ; Figura 1). Esto indicaría una ventada respecto de estas especies, ya que no fueron afectadas con las concentraciones utilizadas. Las mediciones de SPAD al medir la clorofila presente en las hojas de las plantas, tiene un rol fundamental el valor obtenido por la medición, ya que la clorofila es un estimador de la fotosíntesis (Reyes *et al.*, 2000).

### **Análisis químico de suelos**

Los valores de sulfato en el suelo al final del experimento aumentaron de manera proporcional a la concentración de sulfato con la cual se regaron los distintos tratamientos (Tabla 4). T1 obtuvo un valor bajo y T2, T3, T4 y T5 obtuvieron un valor alto de azufre disponible (Anexo 4) y en el análisis estadístico se observó que el uso de sulfato aumentó la cantidad de azufre en el suelo en tratamientos con mayor dosis a comparación de control sin sulfato ( $P < 0,0001$ ), es decir, control tuvo un 99,9 % menor cantidad de azufre que el tratamiento cinco en *Lolium multiflorum* y un 99,68 % en *Festulolium* spp.

Respecto a los valores promedios de referencia en análisis de suelo para los macroelementos como nitrógeno, fósforo, potasio y azufre se encuentran en la categoría, muy bajo, bajo, medio y alto (Anexo 5; Vidal, 2022). Con los resultados obtenidos anteriormente, en *Lolium multiflorum*, los valores de azufre disponible en el suelo para las concentraciones de 100, 250, 600 y 2160 mg  $\text{SO}_4^- \text{L}^{-1}$  se encuentran en la categoría alto. De igual manera ocurre en *Festulolium* spp., los valores de azufre obtenidos en las concentraciones de 100, 250, 600 y 2160 mg  $\text{SO}_4^- \text{L}^{-1}$  se encuentran en la categoría alto.

El ion sulfato no genera efectos en suelos y plantas, sin embargo, contribuye a aumentar la salinidad de la solución del suelo y aumentar la conductividad eléctrica en el agua de riego. Una investigación realizada por CODELCO – Chile utilizó altas concentraciones de molibdeno y sulfato (Mo= 2.1 ppm;  $\text{SO}_4^-$ = 1648 ppm) en riego de alfalfa en el Tranque Carén. Estación experimental Hacienda Loncha, Región de

O'Higgins, Chile. Los resultados obtenidos muestran que el sulfato no se acumula en el suelo porque lixivias fácilmente y en la alimentación del ganado rumiante mostró que serían más sensibles a dietas desbalanceadas respecto al molibdeno, pero el sulfato presente en el agua ejercería una acción mitigadora de este efecto (Sancha, 2005).

Tabla 4. Influencia del uso de sulfato sobre el suelo en diferentes concentraciones finalizado el experimento de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.

a) <i>Lolium multiflorum</i>	
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	S disponible (mg Kg <sup>-1</sup> )
Control	2,33 e
100	98,50 d
250	301,17 c
600	583,30 b
2160	2358,30 a
P- valor	< 0,0001
CV	1,65
b) <i>Festulolium</i> spp.	
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	S disponible (mg Kg <sup>-1</sup> )
Control	5,73 e
100	63,27 d
250	284,53 c
600	619,53 b
2160	1794,37 a
P- valor	< 0,0001
CV	1,65

Los valores de sulfato en el suelo podrían deberse a uno o más mecanismos de resistencia de las plantas a la salinidad, como; exclusión de sal, excreción de sal o dilución de la concentración salina dentro de la célula (Barceló *et al.*, 2001). Resultado de la tolerancia de estas especies no ocurrió estrés salino el cual induce estrés hídrico, toxicidad de ion específica debido a la alta concentración de sodio y cloruro, desbalance nutricional de las plantas (Lamz y González, 2013; Taleisnik, 2019). Por lo que, al ser plantas tolerantes a la salinidad, son capaces de crecer y

completar su ciclo de vida sin disminuir significativamente su rendimiento en altas concentraciones de sal (Ramírez y Hernández, 2016).

### **Análisis foliar final de peso materia seca**

Con los resultados del análisis foliar realizado por el Laboratorio de Análisis Químico de suelos y plantas de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, se demuestra que, a medida que aumentaron las concentraciones de sulfato aplicadas en los tratamientos aumentó la cantidad de azufre disponible en *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para nitrógeno, fósforo, potasio y azufre (Tabla 5).

Tabla 5. Influencia del uso de sulfato sobre el resultado de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre del análisis foliar de peso de materia seca en diferentes concentraciones finalizado el experimento en *Lolium multiflorum* (a) y *Festulolium* spp. (b).

a) <i>Lolium multiflorum</i>				
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Azufre (%)
Control	3,26	0,40	4,28	0,45
100	3,35	0,38	4,01	0,52
250	3,40	0,40	4,50	0,54
600	3,47	0,39	3,64	0,47
2160	3,47	0,44	3,36	0,61
P- valor	0,99	0,97	0,25	0,42
CV	34,17	30,35	15,76	20,25
b) <i>Festulolium</i> spp.				
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Azufre (%)
Control	2,95	0,40	3,1	0,41
100	3,09	0,38	3,74	0,46
250	3,00	0,44	4,73	0,50
600	3,04	0,46	3,89	0,65
2160	3,28	0,40	2,85	0,80
P- valor	0,99	0,86	0,09	0,38
CV	31,99	25,10	21,17	46,08
DMS	1,79	0,19	1,41	0,47

Respecto a los valores promedios de referencia de análisis de plantas son (Anexo 7) y de acuerdo con la guía de análisis foliar, el rango de suficiencia de azufre en pastos (forrajes) se encuentra entre 0,2 a 0,5 % (Aldana, 2011), el cual los niveles bajos, normales y altos (Anexo 6). Ya que no existen valores para *Festulolium* spp. se utilizaron valores de referencia de *Festuca arundinacea*.

## CONCLUSIONES

1. El uso de sulfato en las diferentes concentraciones no afectó el comportamiento productivo de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.
2. Las distintas concentraciones de sulfato aplicadas al suelo no presentaron sintomatologías visibles de toxicidad en *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp., pudiendo atribuirse a distintos mecanismos de tolerancia a la salinidad que estas especies poseen.

## REFERENCIAS

1. Aedo, N. 1996. Morfología de una gramínea y leguminosa típica. En N. Aedo, S. Altamirano y I. Ruiz (Eds.), Praderas para Chile (2da ed.) (pp. 27- 39). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
2. Aldana, J. 2011. Guía de Análisis de la planta (rango de suficiencia de nutrientes. Análisis Foliares. Laboratorios A- L de México, S.A de C.V. Guadalajara, México [en línea]. <<https://fuentesdeinformacioniapb.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/11/analisis-foliar.pdf>>. [Consulta: 28 agosto 2024].
3. Balzarini M.G., L. Gonzalez, M. Tablada, F. Casanoves, J.A. Di Rienzo, C.W. Robledo. 2008. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
4. Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B. y Sánchez, R. 2001. Relaciones hídricas y nutrición. En Autores (Eds.), Fisiología vegetal (pp: 134- 137). Madrid: Ediciones Pirámide.
5. Baquero, J. E., Flórez, H. y Rincón, A. 2012. Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia [en línea]. <<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12469/45>>

271\_61776.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=25>.

6. Benavides, A. 1998. El azufre en las plantas. Departamento de horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, México [en línea]. <  
[https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/El\\_azufre\\_en\\_plantas.pdf](https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/El_azufre_en_plantas.pdf)>.
7. Canseco, C., R. Demanet, O. Balocchi, J. Parga, V. Anwandter, A. Abarzúa, N. Teuber y J. Lopetegui. 2007. Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. pp: 23-49. En: N. Teuber, O. Balocchi y J. Parga (Eds.). Manejo del pastoreo. INIA Remehue. Osorno, Chile.
8. Celis, J., M. Sandoval, and R. Barra. 2008. Plant response to salmon wastes and sewage sludge used as organic fertilizer on two degraded soils under greenhouse conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68:274–283.
9. Cerveñansky, A. 2011. Azufre- fertilidad. Uruguay. [en línea]. <  
<http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/curso/docs/azufre.pdf>>. [Consulta: 10 octubre 2022].
10. Colacelli, N. 2001. Azufre en el suelo. Buenos Aires, Argentina [en línea]. <  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=PKOWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=azufre+en+el+suelo&ots=ZFLXO4IAOA&sig=1A4poJzd7fhW6haWTUXLA0UoJlo#v=onepage&q&f=false>>. [Consulta: 3 octubre 2022].
11. Demanet, R. 2018. Gramíneas Forrajeras. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile [en línea]. <  
[http://praderasypasturas.com/rolando/01.-Catedras/01.-Praderas\\_y\\_Pasturas/2018/08.-Gramineas\\_Forrajeras.pdf](http://praderasypasturas.com/rolando/01.-Catedras/01.-Praderas_y_Pasturas/2018/08.-Gramineas_Forrajeras.pdf)>.
12. Demanet, R. 2019. Gramíneas Forrajeras. En Autores (Eds.), *Manual de especies forrajeras* (pp. 45– 78). Chile: CRP Impresores SPA.
13. Eaton, F. 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. *Journal of Agricultural Research*, Vol. 64. No 7, pp: 357-399. Washington, D. C. EE. UU [en línea]. <  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uc5FAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA357&dq=TOXICITY+AND+ACCUMULATION+OF+CHLORIDE+AND+SULFATE+SALTS+IN+PLANTS&ots=HFt3UgHqFO&sig=qCoL2DSHCmT0biHxzZCJOS3szbl#v=onepage&q=TOXICITY%20AND%20ACCUMU>>

LATION%20OF%20CHLORIDE%20AND%20SULFATE%20SALTS%20I  
N%20PLANTS&f=false>.

14. INE. 2022. Censo Agropecuario. INE, Chile [en línea]. [www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios](http://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios). [Consulta: 22 octubre 2024].
15. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). 2010. Festulolium. Uruguay [en línea]. Recuperado de [www.inia.org.uy/productos/cvforrajeras/festuloliumes.html](http://www.inia.org.uy/productos/cvforrajeras/festuloliumes.html).
16. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales (IREN). 1982. Manual de forrajeras y cultivos industriales. Requerimientos: clima y suelo especies y sus variedades [en línea]. < <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/13587/PI03182.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: diciembre 2022].
17. Kyrkby, E. y Römheld, V. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. IPNI. International Plant Nutrition Institute. Ecuador [en línea]. < <https://docplayer.es/174590672-Micronutrientes-en-la-fisiologia-de-las-plantas-funciones-absorcion-y-movilidad-1.html>>. [Consulta 3 octubre 2022].
18. Mengel, K. Kirkby, E.A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza [en línea]. < [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf)>. [Consulta: 3 octubre 2022].
19. Mills, H., and Jr. Benton, J. 1996. Methods of Plant Analysis and Interpretation. En Autores (Eds.), Plant Analysis Handbook II. 350. Georgia: MicroMacro Publishing Inc.
20. Minolta, K. 2009. Manual de instrucciones. Medidor de clorofila SPAD- 502 Plus. Konica Minolta Sensing, INC. Japón.
21. NCh 1333 of. 78. Norma Chilena Oficial. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. 1978. Diario Oficial N° 30.107. 05 de Julio de 1978. Santiago. Chile.
22. Lamz, A. y González, C. María. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejor vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales* 34

(4), 31- 42. Recuperado de  
<[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005)>.

23. Leal, H. 2017. Perspectivas de la fertilización azufrada en los sistemas agrarios. Cuba tabaco. Vol. 18. No. 1. Instituto de Investigaciones del Tabaco. Artemisa, Cuba [en línea]. <[www.iitabaco.co.cu/wp-content/uploads/2021/02/Vol-18-1-2017-Digital.pdf#page=66](http://www.iitabaco.co.cu/wp-content/uploads/2021/02/Vol-18-1-2017-Digital.pdf#page=66)>.
24. Oliveros, A. 2002. Análisis de crecimiento destructivo y no destructivo de dos materiales de lulo *Solanum quitoense* la selva y de castilla en Agua bonita Cundinamarca. Colombia. [en línea]. <<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55849/LULO.pdf?sequence=1#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20crecimiento%20emplea,que%20ser%C3%A1n%20analizados%20por%20separado>>.
25. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2023. Disponibilidad del agua en el suelo. Propiedades Físicas del Suelo [en línea]. <[www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/](http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/)>. [Consulta: 27 julio 2023].
26. Pereira, J. 1970. Efecto de varios niveles de azufre sobre el crecimiento y composición química de plantas de tomate. Departamento de Fitotecnia y Suelos. Centro de Enseñanza e Investigación. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica [en línea]. <[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1407/Efecto\\_de\\_varios\\_niveles\\_de\\_azufre.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1407/Efecto_de_varios_niveles_de_azufre.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.
27. Ramírez, W. y Hernández, L. 2016. Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. *Pastos y forrajes* 39 (4). 235- 245. Recuperado de [www.redalyc.org/journal/2691/269149518001/html/](http://www.redalyc.org/journal/2691/269149518001/html/).
28. Red Agrometeorológica INIA. 2023. Datos de Aeródromo General Bernardo O'Higgins, Chillán [en línea]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <<https://agrometeorologia.cl/#>>. [Consulta: 2 mayo 2024].
29. Reyes, Ma I., Villegas, A., Colinas, M. y Calderón, G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. *Agrociencia*, 34 (1), 49- 55.
30. Rodríguez, M. Flórez, V. 2004. Elementos esenciales y beneficiosos. Facultad de Agronomía. Universidad de Bogotá. Colombia [en línea]. <<http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=>

1&isAllowed=y>. [Consulta: 10 octubre 2022].

31. Romero, O. 2004. Establecimiento y manejo de praderas [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias N° 112. Disponible en: <<https://hdl.handle.net/20.500.14001/7005>>. [Consultado: 13 diciembre 2022].
32. Ruiz, I. 1996. La pradera como alimento para el ganado En N. Aedo, S. Altamirano y I. Ruiz (Eds.), Praderas para Chile (2da ed.) (pp. 17- 24). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
33. Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M.L. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos en Chile Revisión 2006. Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias N° 34. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8541>.
34. Sancha, A. 2005. Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego resumen ejecutivo. Servicio Agrícola y Ganadero y Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Santiago, Chile.
35. Semillas Generación 2000 Ltda (SG 2000). Catálogo ballica peletón. SG 2000. Chile, 2022.
36. Semillas Generación 2000 Ltda (SG 2000). Catálogo perún (*Festulolium*). SG 2000. Chile, 2022.
37. Semillas Generación 2000 Ltda (SG 2000). Semillas de Césped. SG- 2000. Chile, 2023.
38. Stolpe, N.B. 2006. Descripción de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales N° 1. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
39. Taladrid, I. y Espinoza, M. 2021. Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus* L): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad. Instituto Politécnico Nacional. Polibotánica. México [en línea]. Recuperado de <[www.scielo.org.mx/pdf/polib/n51/1405-2768-polib-51-171.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n51/1405-2768-polib-51-171.pdf)>.
40. Taleisnik, E. 2019. La salinidad una oscura amenaza para la agricultura. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*- Tomo LXX. 136-

147. Recuperado de: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87778>.

41. Tamara, L. 2016. Macronutrientes y micronutrientes en las plantas- fisiología vegetal. Programa de Biología. Fisiología vegetal. Facultad de educación y ciencias Universidad de Sucre [en línea]. <[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60250196/Micro\\_y\\_macro\\_nutrientes\\_en\\_las\\_plantas20190809-43930-brysdp-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1664834813&Signature=Z07aD6vAcjU0DCYdFEYeeo7AWp1eyuKdM6TtP7~QWyQYoMaED3Xo0qDRGpl~W4FY5MWwLz2iMDTD30K4I~n8L~1Kw1cX2faykywKcrxFwXbeVDn4SPML5wLh1lI0KC6xO-cQ9b~F7tyrGuR-WpmLe8i73W5AHltv0x2iCkH2vvv7zN4kQV04AAHSBmV47Dgo3VTJUNOhmtgByGx4pjgkBFZJXbsxCEjoKWSHnCW00vJmqAkrh1sylVfXrW-70MdL-AXtVydZ6JGSsU1MoBQjbG6FF6xOjPoF~jMldP4j7l-m-4IGWesPeie8t~vvi3JjYgXqiUkwneGxKyL1gVYWiQ\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60250196/Micro_y_macro_nutrientes_en_las_plantas20190809-43930-brysdp-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1664834813&Signature=Z07aD6vAcjU0DCYdFEYeeo7AWp1eyuKdM6TtP7~QWyQYoMaED3Xo0qDRGpl~W4FY5MWwLz2iMDTD30K4I~n8L~1Kw1cX2faykywKcrxFwXbeVDn4SPML5wLh1lI0KC6xO-cQ9b~F7tyrGuR-WpmLe8i73W5AHltv0x2iCkH2vvv7zN4kQV04AAHSBmV47Dgo3VTJUNOhmtgByGx4pjgkBFZJXbsxCEjoKWSHnCW00vJmqAkrh1sylVfXrW-70MdL-AXtVydZ6JGSsU1MoBQjbG6FF6xOjPoF~jMldP4j7l-m-4IGWesPeie8t~vvi3JjYgXqiUkwneGxKyL1gVYWiQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)>. [Consulta: 3 octubre 2022].
42. Teuber, N. 2000. Las ballicas anuales y bianuales en los sistemas lecheros. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín N° 33 [en línea]. <<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/5777>>.
43. Todoagro. Productos Festulolium [en línea]. <<https://todoagro.com/producto/festulolium#:~:text=Son%20normales%20los%20rendimientos%20de,a%2014%20tn%20MS%2Fha>>. [Consulta: 14 diciembre 2022].
44. Vidal, I. (2022). *Fertirrigación: desde la teoría a la práctica* (2da. Ed.). Chillán: Universidad de Concepción.
45. Vistoso, E. y Martínez, J. 2020. Fertilización azufrada en suelos agrícolas de la Región de Los Ríos. INIA Remehue. Informativo No 253. Osorno, Chile [en línea]. <<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4036/Informativo%20INIA%20N%c2%b0%20253?sequence=1&isAllowed=y>>.
46. Zambrano, N., Salazar, D., Llomitoa, A. y Chanaguano, B. 2019. Evaluación de la ley del mínimo en *Hordeum vulgare*. Revista multidisciplinaria desarrollo agropecuario, tecnológico, empresarial y humanista. Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná, Ecuador [en línea]. <<https://dateh.es/index.php/main/article/view/30/24>>. [Consulta: 3 octubre 2022].
47. Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., De Bertoli, M. 1981. Evaluating toxicity in

immature compost. Vol. 22 (pp. 54- 57). USA: Biocycle

## ANEXOS

Anexo 1. Cantidad de semillas y germinación de *Lolium multiflorum* y *Festulolium*

	Germinación	Cantidad semillas kg <sup>-1</sup>
<i>Lolium multiflorum</i>	86,6 %	242.000
<i>Festulolium</i> spp.	90 %	298.000

spp.

Anexo 2. Temperatura y humedad relativa dentro de invernadero para el año 2023.

Mes	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Marzo	7,90	30,10	36	71
Abril	7,84	26,66	39,20	88,60
Mayo	5,95	25,60	41,50	94,50
Junio	1,47	24,23	41,33	96,67
Julio	2,50	23,03	50,33	99
Agosto	4,16	26,98	42,40	97,20
Septiembre	4,42	35,27	21	95
Octubre	6,36	43,87	10	83

Anexo 3. Resultado análisis químico de suelo previo a experimentos de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.

			Nivel
pH en agua		6,10	Medio
Materia orgánica	%	4,92	Medio
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg kg <sup>-1</sup>	6,7	Bajo
Amonio (N-NH <sub>4</sub> )	mg kg <sup>-1</sup>	10,0	Medio
Nitrógeno disponible	mg kg <sup>-1</sup>	16,7	Bajo
Fósforo Olsen	mg kg <sup>-1</sup>	27,7	Alto
K disponible	mg kg <sup>-1</sup>	579,1	Alto

K intercambiable	cmol kg <sup>-1</sup>	1,48	Alto
S disponible	mg kg <sup>-1</sup>	1,9	Bajo

Anexo 4. Resultado análisis químico de suelo finalizado los experimentos de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp.

a) <i>Lolium multiflorum</i>		
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> - L <sup>-1</sup> )	S disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel
Control	2,33	Muy bajo
100	98,50	Alto
250	301,17	Alto
600	583,30	Alto
2160	2358,30	Alto
b) <i>Festulolium</i> spp.		
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> - L <sup>-1</sup> )	S disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel
Control	5,73	Bajo
100	63,27	Alto
250	284,53	Alto
600	619,53	Alto
2160	1794,37	Alto

Anexo 5. Valores de referencia para análisis de suelo (Sadzawka *et al.*, 2004).

Análisis	Unidad	Categoría			
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
N disponible	mg kg <sup>-1</sup>	< 10	10 - 20	20 - 40	+ 40
Fósforo	mg kg <sup>-1</sup>	< 5	5 - 10	10 - 20	+ 20
Potasio	cmol kg <sup>-1</sup>	< 0,15	0,16 - 0,30	0,31 - 0,45	+ 0,45
Azufre	mg kg <sup>-1</sup>	< 4	5 - 8	8 - 16	+ 16

Anexo 6. Resultado análisis foliar finalizado los experimentos de *Lolium multiflorum* y *Festulolium* spp. Con respecto a los valores promedio de estudio de análisis de planta (Tabla 2).

a) <i>Lolium multiflorum</i>									
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Corte	N (%)		P (%)		K (%)		S disponible (%)	
Control	1 - 3	4,55	A	0,32	B	3,60	A	0,42	N
	4 - 6	3,37	B	0,32	B	4,65	A	0,39	N
	7 - 9	1,86	B	0,56	A	4,60	A	0,54	A
100	1 - 3	4,30	A	0,34	B	4,06	A	0,43	N
	4 - 6	3,50	N	0,28	B	4,36	A	0,49	A
	7 - 9	2,24	B	0,51	N	3,62	A	0,65	A
250	1 - 3	4,47	A	0,34	B	4,29	A	0,43	N
	4 - 6	3,50	N	0,31	B	4,95	A	0,50	A
	7 - 9	2,24	B	0,54	N	4,26	A	0,69	A
600	1 - 3	4,57	A	0,37	B	4,52	A	0,43	N
	4 - 6	3,68	N	0,32	B	2,56	B	0,48	A
	7 - 9	2,17	B	0,48	N	3,85	A	0,49	A
2160	1 - 3	4,36	A	0,37	B	3,24	N	0,46	A
	4 - 6	3,74	N	0,36	B	4,02	A	0,66	A
	7 - 9	2,32	B	0,60	A	2,92	B	0,70	A

b) <i>Festulolium</i> spp.									
Tratamiento (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup> )	Corte	N (%)		P (%)		K (%)		S disponible (%)	
Control	1 - 3	3,99	N	0,30	B	2,82	B	0,41	N
	4 - 6	3,02	N	0,35	B	3,73	A	0,39	N
	7 - 9	1,84	B	0,55	B	2,74	B	0,42	N
100	1 - 3	3,91	N	0,37	B	3,48	N	0,39	N
	4 - 6	3,12	B	0,35	B	4,94	A	0,45	N

250	7 - 9	2,24	B	0,41	B	2,80	B	0,53	A
	1 - 3	4,10	A	0,35	B	4,59	A	0,39	A
	4 - 6	3,00	B	0,40	A	5,65	A	0,45	A
600	7 - 9	1,90	B	0,56	A	3,95	A	0,65	A
	1 - 3	4,01	N	0,38	B	4,44	A	0,42	A
	4 - 6	3,39	B	0,39	B	4,05	A	0,49	A
2160	7 - 9	1,72	B	0,61	A	3,18	N	1,05	A
	1 - 3	3,89	N	0,34	B	3,38	N	0,46	A
	4 - 6	3,27	B	0,36	B	2,95	B	1,30	A
	7 - 9	2,69	B	0,49	N	2,21	B	0,65	A

A: alto, B: bajo, N: normal

Anexo 7. Valores promedio de estudio de análisis de planta (Mills y Benton, 1996).

Promedio estudio macronutrientes (%)			
<i>Festuca arundinacea</i>		<i>Lolium perenne</i>	
N	5,40	N	3,48 – 4,02
P	0,51	P	0,48 – 0,55
K	3,70	K	3,14 – 3,57
S	Sin dato	S	0,39 – 0,45