

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de dos nuevas formulaciones-fertilizantes  
azufradas, aplicadas en suelos derivados de materiales  
volcánicos**

Tesis presentada como requisito  
para optar al Grado de Licenciado  
en Agronomía.

**Mario Andrés Vera Johannesen**

VALDIVIA - CHILE  
2007

PROFESOR PATROCINANTE

**Dante Pinochet T.**

Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

---

PROFESORES INFORMANTES

**Roberto Mac Donald H.**

Ing. Agr., M. Sc.

---

**Oscar Balocchi L.**

Ing. Agr., M.Sc., Ph.D.

---

Dedico esta Tesis a mis padres, hermanos y abuelos. A esa Paz interior que recuerdo con cariño y que me ayudó a mantener calma y equilibrio en los momentos en que más lo necesité.

Agradezco a las grandes personas, amigos y compañeros “malas juntas” (Duncan, Karsten y Andrés) que he conocido en esta hermosa travesía, los que tuvieron la paciencia de enseñarme y contribuyeron en mi formación personal, espiritual y profesional, entregándome consejos, enseñanzas y sabiduría. A algunos de ellos los volveré a encontrar, y a otros quien sabe si los encontraré en otra vida.

A mi familia, por su apoyo y cariño incondicional durante los momentos difíciles de la vida.

## INDICE DE MATERIAS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Generalidades del azufre	3
2.2	Ingreso de azufre	4
2.2.1	Ingreso atmosférico	4
2.2.2	Ingreso a través de fertilizantes	5
2.2.2.1	Fertilizantes solubles en agua	7
2.2.2.2	Fertilizantes insolubles en agua	8
2.3	Azufre en el suelo	8
2.3.1	Azufre orgánico	8
2.3.1.1	Mineralización e inmovilización	9
2.3.1.1.1	Contenido de materia orgánica	10
2.3.1.1.2	Temperatura	11
2.3.1.1.3	Humedad	11
2.3.1.1.4	pH	11
2.3.1.1.5	Presencia de plantas	11
2.3.1.2	Oxidación y reducción	12
2.3.1.2.1	Microflora	12
2.3.1.2.2	Temperatura	12
2.3.1.2.3	Humedad	13
2.3.1.2.4	pH	13
2.3.1.2.5	Fineza del material aplicado	13
2.3.2	Azufre inorgánico	13
2.3.2.1	S-sulfato en solución	14
2.3.2.2	S-sulfato adsorbido	15
2.4	Azufre en plantas	15
2.5	Efectos de la aplicación de fertilizantes azufrados	16

2.5.1	Acidificación de suelo	17
2.6	Pérdidas de S-sulfato	17
2.6.1	Lixiviación	18
2.6.2	Exportación de productos animales y vegetales	19
3	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	20
3.1	Descripción general	20
3.2	Estudio de laboratorio	20
3.2.1	Descripción del estudio	20
3.2.2	Descripción de los suelos	20
3.2.3	Caracterización de los fertilizantes	21
3.2.4	Adición de los tratamientos	22
3.2.5	Diseño experimental	23
3.2.6	Procedimiento de incubación	23
3.2.6.1	Criterio de evaluación	23
3.2.6.2	Parámetros evaluados	23
3.3	Estudio de campo	24
3.3.1	Duración del estudio	24
3.3.2	Caracterización química del suelo	25
3.3.3	Establecimiento del estudio	25
3.3.3.1	Prácticas culturales	26
3.3.3.2	Aplicación de tratamientos	26
3.3.4	Diseño experimental	26
3.3.5	Muestreo del material vegetal y suelo	26
3.3.6	Parámetros evaluados	27
3.3.6.1	Material vegetal	27
3.3.6.2	Suelo	27
3.3.7	Análisis estadístico	28
4	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	29
4.1	Estudio de incubación	29
4.1.1	Evaluación de la dosis de fertilizante azufrado aplicado	29

4.1.2	Parámetros de acidez y condición del suelo	33
4.1.2.1	Variación del pH en agua (1:2,5) y del pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	33
4.1.2.2	Aluminio intercambiable y saturación de aluminio del suelo	38
4.1.3	Variación del Boro extractable en el suelo	41
4.2	Estudio de campo	42
4.2.1	Evaluación de la dosis de fertilizante aplicado, sobre la productividad (kg MS/ha) de la pradera	43
4.2.2	Absorción de azufre y boro por las plantas	45
4.2.3	Variación del azufre extractable en el suelo	49
4.2.4	Variación del boro extractable en el suelo	54
4.2.5	Variación de los parámetros de acidez y condición del suelo	56
4.2.5.1	Variación del pH en agua (1:2,5) y del pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	57
4.2.5.2	Variación del Aluminio intercambiable, Ca intercambiable y la saturación de Aluminio del suelo	59
5	CONCLUSIONES	63
6	RESUMEN	65
7	SUMMARY	67
8	BIBLOGRAFIA	69
9	ANEXOS	73

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		
<b>1</b>	Contenido de S en fertilizantes y enmiendas azufradas (%).	7
<b>2</b>	Caracterización inicial completa (macro y micronutrientes) de los suelos estudiados en el estudio de incubación, Series Perquenco y Valdivia.	21
<b>3</b>	Contenido de S elemental, S-sulfato, S total, Boro y Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en cada uno de los fertilizantes: S elemental (control), Formulaci3n A y Formulaci3n B. Estudio de incubaci3n.	22
<b>4</b>	Dosis de fertilizante, expresado en mg S/kg y kg S/ha, aplicado a la Serie Perquenco y Valdivia, y su equivalencia en kg de fertilizante/ha.	22
<b>5</b>	Caracterizaci3n qu3mica inicial de suelo. Serie Valdivia	25
<b>6</b>	Disponibilidad de azufre disponible ( $\text{S-SO}_4$ ) en el suelo del tratamiento control (sin adici3n de fertilizante). Series Perquenco y Valdivia.	29
<b>7</b>	Variaci3n de S-sulfato disponible en el suelo sobre el nivel del control sin aplicaci3n, luego de la aplicaci3n de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.	31
<b>8</b>	Variaci3n del pH medido en agua (1:2,5) sobre el nivel del control sin aplicaci3n, luego de la aplicaci3n de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.	34
<b>9</b>	Variaci3n del pH en $\text{CaCl}_2$ (1:2,5) sobre el nivel del control sin aplicaci3n, luego de la aplicaci3n de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.	36
<b>10</b>	Variaci3n del aluminio intercambiable en el suelo sobre el nivel	38



	del control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.	
11	Variación de la saturación de aluminio sobre el control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.	40
12	Rendimiento obtenido en distintos cortes de la pradera, luego de aplicar distinta dosis del fertilizante Formulación A.	43
13	S-sulfato y Boro total absorbido por las plantas, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante azufrado – borado sobre una pradera. Estudio de campo. Serie Valdivia.	45
14	Azufre absorbido por la pradera (kg S/ha) a través del tiempo, evaluado en distintos cortes, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.	46
15	Boro total absorbido por la pradera (g B/ha), evaluado en distintos cortes en el tiempo, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.	47
16	Disponibilidad de S-sulfato en el suelo, medido a dos profundidades, en el control sin aplicación de fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.	49
17	Variación de azufre disponible en el suelo con respecto al control sin aplicación, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante azufrado.	51
18	Variación de Boro extractable en el suelo, sobre el valor del control sin aplicación de fertilizante, medido de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.	54
19	Variación de pH medido en agua (1:2,5), sobre el nivel del control sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante Formulación A.	57

20	Variación de pH medido en $\text{CaCl}_2$ (1:2,5) en el suelo, sobre el nivel del control sin aplicación de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante Formulación A.	58
21	Variación de aluminio intercambiable en el suelo, sobre el nivel del control, medido sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de aplicar distinta dosis de fertilizante Formulación A.	59
22	Variación del Ca intercambiable, sobre el valor del control sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.	60
23	Variación de la saturación de Al del suelo, con respecto al valor del control sin aplicación, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.	62

## INDICE DE FIGURAS

Figura		
1	Ciclo del azufre	9
2	Contenido de S-sulfato disponible en el suelo con la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).	32
3	pH en agua (1:2,5) luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).	35
4	pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5) luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).	37
5	Aluminio intercambiable en el suelo luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).	39
6	Boro extractable del suelo al inicio y final de la incubación de suelo, luego aplicar distintas dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo. Serie Perquenco (derecha) y Valdivia (izquierda), respectivamente.	42
7	Productividad total de la pradera luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.	44
8	Relación entre la dosis de fertilizante Formulación A aplicado en el suelo y la cantidad de azufre total (izquierda) y boro total (derecha) absorbido por la pradera.	48

9	S-sulfato disponible en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y 10 a 20 cm (derecha), luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo. Serie Valdivia.	50
10	Variación del S-sulfato disponible en el suelo, de 0 a 20 cm, en función de la dosis de S aplicado menos la extracción de la pradera, a los 395 días y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.	53
11	Variación del B extractable en el suelo, de 0 a 20 cm, en función de la dosis de B aplicado menos la extracción de la pradera, a los 395 días y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.	56

## INDICE DE ANEXOS

Anexo		
1	Azufre disponible (mg/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	76
2	pH en agua (1:2,5) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	77
3	pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	78
4	Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	79
5	Saturaci3n de Aluminio (g/100g) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	80
6	Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A y Formulaci3n B, m3s un control sin aplicaci3n. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubaci3n	81
7	Boro extractable (mg B/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulaci3n A	82

	y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación	
8	S-sulfato disponible (mg S/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia	83
9	S-sulfato disponible (mg S/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.	84
10	pH en agua (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.	85
11	pH en agua (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia	86
12	pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.	87
13	pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia	88
14	Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia	89
15	Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la	90

	aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	
16	Saturaci3n de Aluminio (g/100g) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	91
17	Saturaci3n de Aluminio (g/100g) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	92
18	Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	93
19	Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	94
20	Boro extractable (mg B/kg) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	95
21	Boro extractable (mg B/kg) en el suelo a trav3s del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicaci3n de distintas dosis de fertilizante Formulaci3n A. Estudio de campo - Serie Valdivia	96

## 1 INTRODUCCION

Un menor ingreso de nutrientes por manejos agronómicos inadecuados, el desarrollo de cultivares con mayores requerimientos, el incremento en el control de emisiones industriales hacia la atmósfera y nuevas formulaciones de materiales fertilizantes utilizados, han provocado una disminución de la fertilidad azufrada de los suelos, con un incremento de las áreas que manifiestan una deficiencia de este nutriente.

A través del tiempo, ha habido un incremento en el número de suelos que presentan deficiencias nutricionales, específicamente aquellos deficientes en azufre (S), provocando una significativa disminución de los rendimientos y la pérdida de la calidad de los cultivos y praderas. En el sur de Chile, esta situación se manifiesta en forma notoria, existiendo un creciente interés por evitar el continuo aumento de los suelos que presentan esta condición.

La investigación desarrollada ha sido orientada a evaluar el efecto que provoca en el suelo, la aplicación de nuevas formulaciones - fertilizantes azufradas, sobre la productividad y fertilidad del suelo, logrando obtener más y mejores productos.

De este modo, en el estudio se plantea la siguiente hipótesis de trabajo: “Los efectos provocados por la aplicación de fertilizantes azufrados en el suelo, son dependientes de su formulación química y afectan la disponibilidad de S-sulfato y los parámetros de acidez y condición del suelo”.

Para aprobar o rechazar esta hipótesis, se ha fijado como objetivo general, “Evaluar dos nuevas formulaciones fertilizantes azufradas, que aplicadas en suelos derivados de material volcánico, permitan determinar el efecto producido tanto en el suelo como en la pradera”.



Específicamente, se desea: “Evaluar en condiciones de incubación suelo – fertilizante, el efecto provocado por la aplicación de dos nuevas formulaciones fertilizantes azufradas, en distinta dosis, sobre la disponibilidad de S-sulfato y parámetros de acidez y condición en suelos derivados de materiales volcánicos”. Además, se desea “Evaluar en condición de campo, considerando la interacción suelo – pradera, el efecto provocado por la aplicación de dosis crecientes de una nueva formulación fertilizante, sobre la productividad de la pradera (kg MS/ha), absorción de S (kg S/ha) y Boro (kg B/ha) por la pradera, disponibilidad de azufre y boro en el suelo y parámetros de acidez y condición”.

## 2 REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Generalidades del azufre

El azufre (S), se ubica entre los trece elementos de mayor abundancia en la superficie terrestre (0,01% a 0,1%) y en cuarto lugar de importancia para la nutrición vegetal, a continuación de N, P y K (TISDALE et al., 1993). Las plantas absorben este nutriente como ión sulfato (S-sulfato), el cual en niveles deficientes, no permite alcanzar el potencial de rendimiento de un cultivo (kg MS/ha), afectando la calidad y particularmente la concentración de proteínas de las plantas (CICHOTA, 2004). En organismos vivos, es esencial y junto a macronutrientes secundarios, como Ca y Mg, es requerido en cantidades que fluctúan entre 20 y 75 kg S/ha/año. La amplitud de requerimientos, se debe fundamentalmente a que el requerimiento interno varía según la familia de plantas, de este modo las crucíferas tienen un mayor requerimiento que las leguminosas y estas a su vez mayor que las gramíneas (PINOCHET, 2003).

El azufre que ingresa al suelo proviene principalmente de dos fuentes: natural e industrial. En forma natural, el aporte proviene de la atmósfera como depositación seca y húmeda (STEVENSON, 1999; MARSCHNER, 1995), manejo de residuos y contenido de materia orgánica de cada tipo de suelo. En forma industrial el aporte es mediante el uso y quema de combustibles fósiles y al uso de fertilizantes (McNEILL, 2005; DELFOSSE, 2005). Una revisión realizada por MARSCHNER (1995), señala que en el suelo las fracciones de S pueden ser orgánicas e inorgánicas, con cantidades variables dependiendo del tipo de suelo, contenido de materia orgánica, pH, composición mineralógica y nivel de drenaje.

## **2.2 Ingreso de azufre**

En sistemas naturales, el aporte mayoritario proviene del material parental de cada suelo (35%) y depositaciones atmosféricas secas y húmedas provenientes de la actividad industrial principalmente (35%), océanos (23%), actividad volcánica y residuos de plantas y animales (7%).

El ingreso desde la atmósfera ocurre de dos maneras, la primera asociada a precipitación – planta – suelo (ciclo o vía húmeda) y la segunda que involucra la relación entre atmósfera – planta – suelo (ciclo o vía seca), en la que participan la industria con la quema de combustibles fósiles. (MARSCHNER, 1995; PASRICHA y FOX, 1995; TISDALE et al., 1993; WHITEHEAD, 2000).

En la agricultura, el reciclaje vegetal y animal (residuos, purines y estiércoles) y la aplicación de materiales fertilizantes formulados en base a azufre y permiten un incremento significativo del contenido de S-sulfato extractable en el suelo.

En sistemas agrícolas de producción, especialmente aquellos manejados como pradera, existe un continuo reciclaje de residuos vegetales y animales, a diferencia de otros sistemas productivos que exportan una mayor cantidad de nutrientes, removiendo cantidades significativas de S y otros nutrientes desde el sistema. De esta manera, la reincorporación de nutrientes en conjunto con el trabajo realizado por la biomasa microbial (S ligado a materia orgánica activa) (TISDALE et al., 1993), permiten un incremento en el nivel de S, alcanzando niveles superiores a los encontrados inicialmente en el suelo, traduciéndose en la obtención de mayores rendimientos y mejor calidad de los productos cosechados.

### **2.2.1 Ingreso atmosférico**

Los compuestos derivados de la actividad industrial y quema de combustibles fósiles permiten una mayor depositación de azufre en el suelo. Hace algunos años, el

ingreso a través de esta vía fluctuaba entre 1 y 200 kg S/ha/año, sin embargo, actualmente debido a un mayor control de emisiones a la atmósfera, los ingresos han disminuido significativamente alcanzando niveles que varían entre 1 y 25 kg S/ha/año, dependiendo de la ubicación con respecto a centros urbanos, industriales y el mar. En algunos países de la Unión Europea (UE), particularmente en zonas de mayor polución ambiental se ha registrado una disminución del azufre que ingresa a través de la atmósfera de hasta 300% (STEVENSON et al., 1999).

El S proveniente de la quema de combustibles fósiles (carbón, aceite, gas natural y otros productos con azufre en su estructura molecular) liberados a la atmósfera, se encuentra como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). En este estado permanece corto tiempo e ingresa por absorción directa de las hojas de las plantas o a través de precipitaciones con altas concentraciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{H}_2\text{SO}_3$  (TISDALE et al., 1993; WHITEHEAD, 2000), conocida comúnmente como lluvia ácida. Actualmente, existe conciencia mundial acerca del problema medioambiental, permitiendo el desarrollo de entidades y mecanismos que controlan las emisiones contaminantes que afectan directamente al medioambiente.

En Chile, aún persisten algunas áreas con elevados niveles de contaminación atmosférica, sin embargo en comparación a países europeos y norteamericanos, los niveles encontrados son bajos, exceptuando áreas con núcleos altamente industrializados y zonas cercanas a volcanes y el mar, con aportes de azufre atmosférico mayores, registrándose ingresos atmosféricos que bordean los 5 kg S/ha/año, pudiendo alcanzar el doble de esta cantidad en zonas altamente polucionadas debido a la actividad industrial o influencia marítima (PINOCHET, 2003).

### **2.2.2 Ingreso a través de fertilizantes**

Durante décadas, parte del azufre aplicado al suelo provenía de fertilizantes formulados con azufre como acompañante del nutriente principal, entre ellos

superfosfato normal, sulfato de amonio y sulfato de potasio, logrando un adecuado suministro de nutrientes en el suelo, permitiendo satisfacer la demanda de los cultivos.

Actualmente, los materiales fertilizantes presentan nuevas formulaciones o son reemplazados por otros materiales, entre ellos superfosfato triple, nitrato de amonio y urea y muriato de potasio (WHITEHEAD, 2000), con muy bajo o sin azufre en su composición. Algunas de las formulaciones comúnmente encontradas en el mercado contienen azufre (S-sulfato) en su formulación, quedando disponible en el suelo para ser absorbido por las plantas en un menor período de tiempo. Además, otros fertilizantes son formulados en base a S elemental y su disponibilidad depende de la tasa a la cual el S elemental se transforme (oxidación) en S-sulfato, proceso mediado por microorganismos y el medio ambiente que exista en el suelo.

La aplicación de fertilizantes azufrados formulados en base a S elemental tiene a su vez un efecto acidificante en los suelos debido a que la oxidación que permite la transformación de S elemental a S-sulfato, libera iones hidrógeno, provocando la acidificación (disminución del pH) del suelo.

La tasa de oxidación del azufre también es dependiente del tamaño de partícula del material fertilizante, de esta manera un grano fino presenta mayor superficie expuesta a la acción microbial (HU et al., 2002; MESSICK et al., 2003; MILES, 2004). Además, la ubicación del grano de fertilizante con respecto a la raíz de la planta y el grado de dispersabilidad y el contenido de humedad al momento de la aplicación, afectan la reacción del fertilizante en el suelo (HU et al., 2002) y a su vez el efecto que tiene sobre las plantas.

Algunos fertilizantes y enmiendas azufradas comúnmente utilizadas en la agricultura y su respectiva concentración se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Contenido de S en fertilizantes y enmiendas azufradas (%).

<b>Fertilizante</b>	<b>Contenido de S %</b>
Sulfato amónico	24
Urea recubierta de S	19
Superfosfato normal	12
Sulfato de potasio	17
Sulfato de magnesio	14
Sulfato de cobre	12
Sulfato de hierro	12
Sulfato de zinc	18
Sulfato de manganeso	15
Azufre elemental	99
Yeso	18

Fuente: TISDALE et al. (1993)

De acuerdo a la solubilidad, los fertilizantes azufrados se clasifican en: solubles e insolubles en agua.

### **2.2.2.1 Fertilizantes solubles en agua**

Considerados como una fuente efectiva y de disponibilidad inmediata de azufre para las plantas, debido a que ingresan rápidamente a la solución quedando disponibles para las plantas a menos que ocurra una inmovilización microbial (TISDALE et al., 1993).

La aplicación de estos materiales requiere de adecuadas condiciones de humedad para su solubilización, sin embargo algunos provocan una acidificación de la rizósfera, por su contenido de amonio (sulfato de amonio).

### **2.2.2.2 Fertilizantes insolubles en agua**

Pertencen a este grupo aquellos fertilizantes que previamente deben ser transformados, mediante oxidación, a formas disponibles para las plantas (S-sulfato). En solución, su reacción oxidativa es lenta y produce ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) provocando un incremento en la concentración de iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y solubilizando el aluminio en su especie tóxica ( $\text{Al}^{+3}$ ). En este grupo se encuentran: pirita ( $\text{FeS}_2$  - 54% S) y S elemental ( $\text{S}_0$  - 99% S), utilizados muchas veces como una fuente de S de lenta entrega. Su disponibilidad en el suelo es dependiente de la tasa a la cual sea oxidado a sulfato por bacterias del género *Thiobacillus*. La eficiencia y tasa a la que ocurra este proceso depende del tamaño de partícula, temperatura y humedad del suelo (SUMNER, 1999). Fertilizantes con alto contenido de S-elemental en su formulación muestran variaciones en sus características físicas y algunos beneficios al permitir una lenta liberación de sulfato en el tiempo, disminuyendo las pérdidas por lixiviación de sulfatos (RILEY et al., 2000).

## **2.3 Azufre en el suelo**

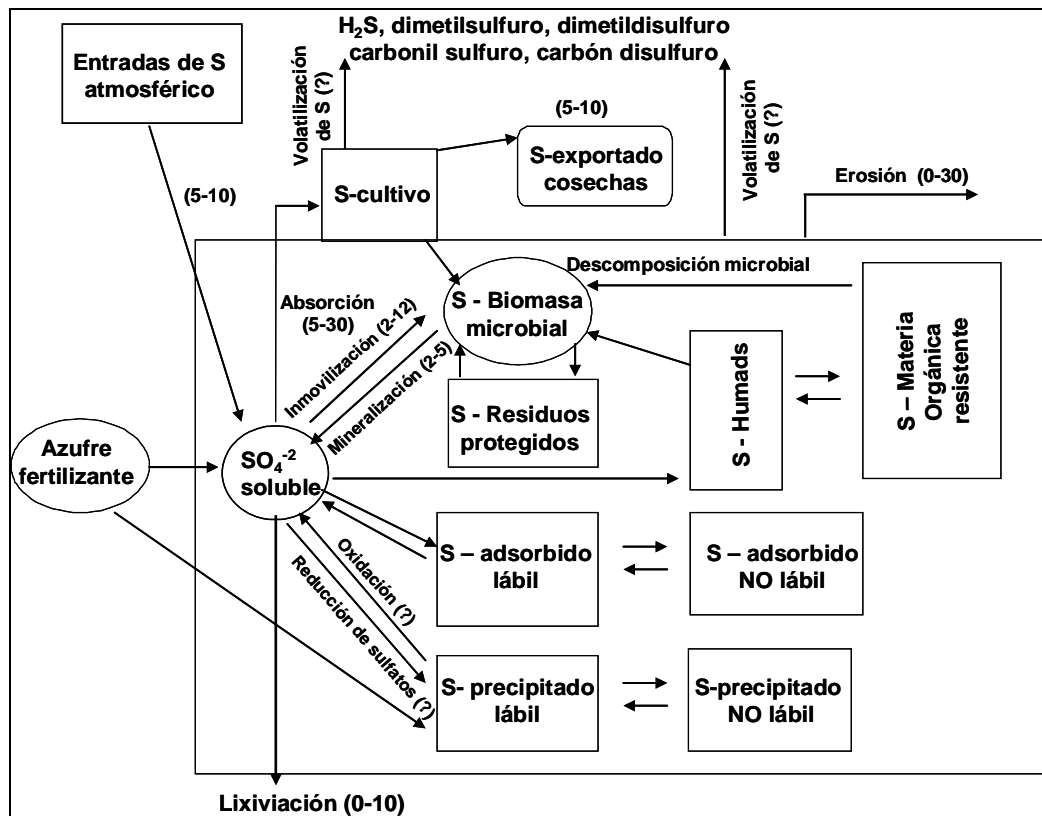
### **2.3.1 Azufre orgánico**

Alrededor del 95% del S del suelo proviene de compuestos orgánicos o se encuentra adsorbido por la matriz, quedando una parte en forma de ión sulfato (S-sulfato), mayoritariamente absorbido por las plantas. KERTESZ, (2004) y McNEILL, (2005) señalan que una parte de la fracción orgánica presente en algunos compuestos, no se encuentra disponible en forma inmediata, siendo incorporada a la biomasa microbial y materia orgánica (inmovilización), formando ésteres de sulfato, aminoácidos o ligado a átomos de carbono.

En praderas, el constante ingreso de residuos orgánicos se encuentra sometido a sucesivos procesos de estabilización y desestabilización de la materia orgánica y por lo tanto a la inmovilización y mineralización del azufre. Estos procesos se encuentran íntimamente relacionados con la población y actividad microbial del suelo (STEVENSON et al., 1999; TISDALE et al., 1993). De este modo, cualquier

modificación en la atmósfera del suelo, afecta directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las poblaciones microbianas y la tasa a la cual estos procesos ocurren.

El esquema del Ciclo del azufre en la naturaleza, se muestra en la Figura 1, indicándose las cantidades que ingresan o se pierden desde el sistema.



**Figura 1.** Ciclo del azufre

Fuente: Adaptado desde Johnson (1984)

### 2.3.1.1 Mineralización e inmovilización

Las fracciones de S del suelo son extremadamente dinámicas llegando incluso a no encontrarse disponibles como ión sulfato (S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) en la solución. (BRADY, 2000; STEVENSON et al., 1999). El S-sulfato inmovilizado se incorpora a través de la biomasa microbial, quedando temporalmente retenido, no pudiendo ser utilizado hasta



que es mineralizado nuevamente, quedando disponible para las plantas (PINOCHET, 2003). La mineralización a partir de la materia orgánica, ocurre a tasas limitadas y lentas (TISDALE et al., 1993), sin embargo cuando las condiciones ambientales del suelo son adecuadas, se produce un incremento de la actividad microbial, aumentando la cantidad de azufre mineralizado. A través de este proceso, los compuestos orgánicos de más fácil descomposición son transformados en S-sulfato mediante la acción de microorganismos. La transformación de residuos ocurre de manera distinta en el suelo ya que estos deben primero incorporarse para luego ser degradados por la acción microbial. Este proceso ocurre en forma acelerada, especialmente cuando existe una fuente de S que estimule el desarrollo y crecimiento microbial (BRADY, 2000).

WHITEHEAD (2000), señala que la mineralización a través de reciclaje vegetal ocurre en dos etapas: la primera, en los primeros días, con una liberación de S-sulfatos solubles en agua, donde ocurre la mineralización de S orgánico lábil. Y una segunda etapa, en los meses siguientes, donde son mineralizados compuestos orgánicos de mayor complejidad como ligninas, pectinas y flavonoides, aumentando la cantidad de S-sulfatos adsorbidos por las arcillas. El S-sulfato absorbido por las plantas presenta un comportamiento inversamente proporcional al pH del suelo, es decir, a medida que el contenido de S-sulfato aumenta, el pH tiende a disminuir, particularmente cuando la fuente de S aplicada deriva de S-elemental (STEVENSON et al., 1999).

En la oxidación de S, afectan varios factores como el contenido de materia orgánica, temperatura, humedad, concentración de oxígeno, pH del suelo y presencia de plantas.

**2.3.1.1.1 Contenido de materia orgánica.** El contenido de S del material a descomponer, afecta de forma significativa sobre la tasa a la cual ocurren estos procesos, es decir, residuos con baja concentración de azufre, liberan una menor cantidad de S al

suelo (pradera de gramíneas) a diferencia de residuos provenientes de cultivos de crucíferas o leguminosas (TISDALE et al., 1993).

**2.3.1.1.2 Temperatura.** La tasa de mineralización disminuye con temperaturas inferiores a 13°C, aumentando entre 20 y 40°C, con un óptimo entre 28 y 30°C y disminuyendo nuevamente desde 40°C. Temperaturas superiores a 60°C, provocan la muerte de los microorganismos. (STEVENSON et al., 1999).

**2.3.1.1.3 Humedad.** El contenido de humedad del suelo afecta la liberación desde la materia orgánica y la movilidad de sulfatos al interior de la matriz. Un nivel óptimo de humedad para que se lleve a cabo la mineralización de azufre corresponde a un 60% de la capacidad máxima de retención de humedad del suelo (CMRH) (OPAZO, 1982).

**2.3.1.1.4 pH.** En condiciones ácidas ocurre un mayor desarrollo microbial, observándose una mayor tasa de desarrollo microbial con pH óptimo, entre 3,0 y 3,5. Sin embargo, existen especies microbianas que presentan un adecuado desarrollo en suelos cuyo pH fluctúa entre 3,0 y 5,5<sup>1</sup>.

**2.3.1.1.5 Presencia de plantas.** El desarrollo de la biomasa microbial se incrementa a través de la excreción de compuestos y sustancias desde las plantas hacia la rizósfera, aumentando la cantidad de materia orgánica que es degradada en el suelo, provocando una liberación de S-sulfato a la solución. (TISDALE et al., 1993).

---

<sup>1</sup> VALENZUELA, E. 2000. Comunicación personal como parte de la asignatura de Microbiología de suelos.

### 2.3.1.2 Oxidación y reducción

Este proceso es mediado íntegramente por microorganismos y depende de la mineralización de compuestos como sulfatos, sulfuros, politionatos, tiocianatos y sulfitos, los cuales posteriormente pueden llegar a ser oxidados y reducidos, dependiendo de la condición predominante en el suelo al momento de la reacción (FASSBENDER, 1975). Al producirse sulfatos a partir de sulfuro, mediante oxidación, el principal resultado es la producción de ácido sulfúrico, disminuyendo significativamente el pH del suelo. Los factores que afectan la tasa a la cual ocurre este fenómeno corresponden a la microflora del suelo, temperatura, humedad, pH y fineza del material aplicado.

Suelos que presentan condiciones anaeróbicas, muestran una reducción del azufre a partir de sulfato, obteniéndose sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el cual es producto de la descomposición microbial de la materia orgánica. En este proceso, una parte se pierde en forma gaseosa y otra parte reacciona con el hierro ( $Fe^{2+}$ ) del suelo formando compuestos de sulfuro de hierro, tales como  $FeS$  y  $FeS_2$  (pirita) que forman parte del suelo mientras esta condición se mantenga. Si el suelo es drenado, ocurre una oxidación de estos compuestos, formando ácido sulfúrico, mediante reacciones químicas y microbiológicas (TISDALE et al., 1993).

**2.3.1.2.1 Microflora.** Algunas de las bacterias que participan mayoritariamente en la transformación desde S elemental a S-sulfato corresponde a cinco especies aeróbicas: *Thiobacillus thiooxidans*, *T. denitrificans*, *T. ferrooxidans*, *T. thioparus* y *T. nevelus* (STEVENSON et al., 1999).

**2.3.1.2.2 Temperatura.** La temperatura óptima oscila entre 25 – 40 °C, temperaturas mayores a 55 °C provocan la muerte de los microorganismos que realizan la oxidación y

temperaturas inferiores provocan una disminución de la tasa a la cual ocurre este proceso (VIDAL, 2003).

**2.3.1.2.3 Humedad.** La tasa de oxidación aumenta, cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo (CC). Al aumentar el contenido de humedad de suelo, la concentración de oxígeno disminuye, disminuyendo por lo tanto la actividad de los microorganismos en el suelo, limitando el proceso (TISDALE et al., 1993).

**2.3.1.2.4 pH.** En diferentes tipos de suelo, la oxidación microbiana ocurre en un amplio rango de pH, alcanzando un óptimo con pH inferior a 4 (TISDALE et al., 1993).

**2.3.1.2.5 Fineza del material aplicado.** Un menor tamaño de partícula tiene una mayor superficie específica, es decir una mayor superficie expuesta a la acción de los microorganismos (TISDALE et al., 1993).

## **2.3.2 Azufre inorgánico**

Menos del 5% del azufre presente en la solución se encuentra como S-sulfato inorgánico, lo cual no significa que existan deficiencias de este nutriente en el suelo. Las cantidades que conforman esta fracción son variables y dependen de factores ambientales y edáficos como temperatura, humedad, pH y suministro de carbono (STEVENSON et al., 1999).

TISDALE et al. (1993), señala que el sulfato forma parte del suelo, ya sea adsorbido por la matriz o como componente mineral insoluble (precipitado), quedando disponible durante la temporada de cultivo. En solución, la cantidad de azufre que se encuentra disponible es dependiente del balance entre absorción y los procesos de

adsorción-desorción, inmovilización-mineralización y lixiviación que ocurran en el subsistema suelo.

Las relaciones derivadas de la adsorción específica del ión sulfato (S-sulfato) en suelos con carga variable y alta capacidad sortiva de aniones (arcillas alofánicas, haloisíticas y metahaloisíticas), como así también suelos de carga negativa permanente (esmeclíticos y caoliníticos) con una dinámica ligada a mecanismos de adsorción no específica, tienen escasa retención y por lo tanto son repelidos por la matriz (PINOCHET, 2003), saliendo de la solución a través de la lixiviación, formando parte de las pérdidas de S desde el sistema. Estudios anteriores realizados por PINOCHET, (2001), señalan que alrededor de un 40% de los suelos de las regiones X y XIV, presentan un nivel de azufre disponible igual o inferior a 8 mg S/kg.

#### **2.3.2.1 S-sulfato en solución**

Las cantidades que conforman esta fracción son pequeñas, llegando incluso a ser inferiores a 10%, siendo absolutamente dependientes de la interacción entre condiciones ambientales y estacionales que afectan la absorción de las plantas y las reacciones de adsorción-desorción y mineralización – inmovilización de S-sulfato desde y hacia la fracción orgánica.

Desde esta fracción las plantas absorben el S-sulfato requerido para llevar a cabo su metabolismo. El movimiento de nutriente hacia la raíz ocurre a través de mecanismos de difusión y flujo de masas (TISDALE et al., 1993), siendo mayoritariamente por flujo de masas (95%) y en menor cantidad (5%) por intercepción radical (PINOCHET, 2003).

El S-sulfato (anión), es repelido fácilmente por la matriz, especialmente en suelos de origen volcánico o de carga negativa o variable, provocando pérdidas por lixiviación de S-sulfato desde la solución (TISDALE et al., 1993). Las cantidades que se pierden desde la solución son variables y dependen en gran parte de la capacidad de adsorción, inmovilización microbial y volumen de las precipitaciones (STEVENSON et al., 1999).

### **2.3.2.2 S-sulfato adsorbido**

Altos contenidos de óxidos de Fe y Al presentan un contenido significativo del S total del suelo. SUMNER (1999), señala que en sitios de intercambio y bordes de las arcillas con carga positiva, materia orgánica, y óxidos de Fe y Al, el fenómeno ocurre de manera significativa. De este modo, cerca de la tercera parte del S total del suelo tiene adsorción específica de menor magnitud ( $\text{OH}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ ), quedando adsorbido con menor fuerza por las arcillas.

En profundidad, la cantidad de S-sulfato adsorbido es mayor, debido a una disminución del pH y en algunos casos a la presencia de un mayor contenido de arcillas y/o presencia de hidróxidos de Fe y Al.

Los suelos del Sur de Chile (alofánicos y metahalosíticos), presentan una notable capacidad de adsorción de S-sulfatos. Sin embargo, también presentan una mayor velocidad de desorción entre arcillas y fosfatos al disminuir los niveles de S-sulfato en solución. De la totalidad del S-sulfato disponible en el suelo, sólo una parte es adsorbida y retenida por el suelo. Los suelos derivados de materiales volcánicos muestran una adsorción preferencial significativa de S-sulfatos, especialmente los suelos trumaos, pardos arcillosos y rojos arcillosos. Por el contrario, suelos de origen no volcánico muestran una menor capacidad de adsorción, particularmente aquellos con un mayor contenido de arcillas del tipo 2:1 (aluviales de la Zona Central), específicamente suelos caoliníticos (graníticos y metamórficos), ocurriendo una adsorción no preferencial (electrostática) de S-sulfato, siendo repelidos por las arcillas del suelo.

## **2.4 Azufre en plantas**

Alrededor del 95% del azufre del sistema se encuentra en formas orgánicas (STEVENSON et al., 1999). En las plantas, el S-sulfato absorbido cumple funciones metabólicas como vitaminas, aminoácidos (cistina, cisteína y metionina), componentes esenciales de las proteínas y cadenas polipeptídicas que conforman enlaces disulfuro, aumentando la estabilidad de la estructura proteica (DOMINGUEZ, 1997). Tiene un rol importante en la síntesis de biotina y tiamina junto con reacciones de oxidación – reducción,

tal como ocurre con la coenzima A, cumpliendo un rol fundamental en el proceso oxidativo, como intermediario en el ciclo del ácido tricarbóxico o del ácido cítrico y la síntesis de ácidos grasos (PINOCHET, 2003; STEVENSON et al., 1999).

La concentración de azufre en tejidos vegetales varía entre 0,1 y 0,5%, según la familia a la cual pertenezca. Plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas y crucíferas, pueden tener requerimientos de S de hasta 9 veces más que otras familias de plantas (gramíneas). MARSCHNER, 1995 y SUMNER, 1999 señalan que la presencia de S en compuestos como glutatión y glucosinolatos que permiten funciones antioxidantes y protectoras de plantas frente a enfermedades y plagas. CHICOTA (2004), señala que deficiencias de este nutriente en plantas, aumenta la susceptibilidad de ser atacadas por microorganismos patógenos. En el caso de glutatión, cerca del 50% forma parte de cloroplastos de las células, principalmente de las hojas (McNEILL, 2005).

DOMINGUEZ (1997), señala que la cantidad de S-sulfato en solución que puede ser absorbido por las plantas, resulta de un balance entre ingresos por mineralización de materia orgánica, solubilización de sales, S oxidado y depositación atmosférica, menos las pérdidas por lixiviación de S-sulfato, S adsorbido y volatilización de otros compuestos azufrados. De esta manera, la cantidad de S-sulfato absorbida por las plantas, es dependiente de la concentración de nutriente en solución. Estudios revelan que a mayor concentración de azufre disponible en el suelo, mayor es la absorción activa por parte de las plantas.

## **2.5 Efectos de la aplicación de fertilizantes azufrados**

La aplicación de materiales azufrados en el suelo, produce cambios en el rendimiento, favorece el desarrollo de ciertas especies de plantas y modifica el contenido de las distintas fracciones de S del suelo, aumentando el contenido de S-sulfato extractable en el suelo, provocando una disminución del pH e incrementando el contenido de aluminio intercambiable y la saturación de aluminio del suelo.

### **2.5.1 Acidificación del suelo**

La acidificación del suelo es el resultado de la disminución de la concentración de bases intercambiables que son lixiviadas a causada de altas precipitaciones, absorción de bases por las plantas y el uso de fertilizantes acidificantes. Los fertilizantes azufrados reaccionan produciendo ácido sulfúrico (TAN, 1988). Esta reacción ocurre inevitablemente cuando el material fertilizante contiene S elemental que es oxidado a S-sulfato.

La transformación en S-sulfato a partir de S-elemental (oxidación) provoca un aumento de iones  $H^+$  en la solución (disminución del pH del suelo), aumentando el contenido de aluminio intercambiable y la saturación de aluminio. SADZAWKA (1999), señala que suelos chilenos con textura arenosa y un menor contenido de arcilla, muestran una acidificación más rápida que suelos arcillosos, debido a una menor reserva de cationes básicos y una mayor pérdida por lixiviación.

Una de las principales características que muestran los suelos derivados de materiales volcánicos en el sur de Chile es su pH ligeramente ácido (RODRIGUEZ et al., 2001). Por esta razón, no se recomienda el uso continuo de fertilizantes formulados en base a S elemental.

### **2.6 Pérdidas de S-sulfato**

Las pérdidas de este nutriente ocurren principalmente a través de la lixiviación (5 – 40 kg S/ha/año) seguido de la volatilización (0,2 kg S/ha/año) y exportación de compuestos azufrados. Esta última junto a la depositación de residuos en áreas no productivas y la lixiviación de sulfatos constituyen las mayores y más importantes pérdidas de S-sulfato del sistema.



### **2.6.1 Lixiviación**

Corresponde a la cantidad de S-sulfato que se pierde más allá de la profundidad de enraizamiento de las plantas y constituye una de las mayores pérdidas de S-sulfato desde la solución. La movilidad del S-sulfato depende del tipo de suelo, es decir, suelos con baja capacidad de adsorción específica y carga predominantemente negativa presentan mayor movilidad de nutrientes aniones con una mayor pérdida por lixiviación.

Parte del azufre que ingresa desde la atmósfera y las aplicaciones de fertilizantes se pierden como S-sulfato, variando su magnitud según la textura de los suelos (RHUE et al., 1973; McNEILL, 2005). Suelos arenosos muestran una mayor movilidad de sulfatos, con pérdidas que fluctúan entre 4 y 45 kg S/ha/año. Suelos con una mayor capacidad de adsorción específica, tienen menor movilidad debido a una mayor adsorción específica, provocando menores pérdidas. Suelos con altos contenidos de óxidos de Fe y Al, muestran menores pérdidas debido a la adsorción de S-sulfato (TISDALE et al., 1993).

Otro factor que afecta la velocidad de lixiviación de S-sulfato, además de las características hídricas del perfil, es la competencia con el fósforo (KAMPRATH, 1973). El S-sulfato compite con los iones fosfato por los sitios reactivos, los cuales son más específicos para iones fosfato que para el ión sulfato. Por lo tanto, al aplicar un fertilizante fosforado se acentúa la competencia aniónica, desplazando los iones sulfato desde los sitios de adsorción a la solución, con altas probabilidades de ser lixiviado.

En el sur de Chile, pérdidas por lixiviación son relativamente bajas (20 kg S/ha/año), en comparación a las cantidades de S adsorbidas por las arcillas. OPAZO, 1982, señala que suelos con texturas franco, presentan pérdidas que bordean los 30 kg S/ha/año.

### **2.6.2 Exportación de productos animales y vegetales**

Se estima que las cantidades de azufre exportadas como producto animal o vegetal varían entre 1,5 y 20 kg S/ha/año (WHITEHEAD, 2000), pudiendo llegar a 50 kg S/ha/año. Las cantidades aportadas a los distintos sistemas productivos se encuentran en función de la intensidad y duración de este. STEVENSON et al., (1999), señala que entre las pérdidas, se debe considerar las depositaciones en áreas no productivas como caminos, patios de alimentación, galpones de guarda, patios de espera y salas de ordeña. Algunas pérdidas ocurren principalmente a través de la volatilización de compuestos como H<sub>2</sub>S, dimetilsulfuro, dimetildisulfuro, carbonil sulfuro y carbón disulfuro (McNEILL, 2005).

Las cantidades S-sulfato que se pierden a través de esta vía desde los sistemas productivos podrían disminuir si se realiza un adecuado manejo de residuos con un reciclaje nutricional, teniendo en cuenta que gran parte del S presente en el sistema puede ser devuelto, pudiendo ser aportado como S-sulfato disponible para las plantas (DELFOSSSE, 2005).

### **3 MATERIAL Y METODOS**

#### **3.1 Descripción general**

El estudio se dividió en dos fases, un estudio de laboratorio que consistió en una incubación de suelo – fertilizante, desarrollada bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, luego de la aplicación de distintas dosis de dos nuevas formulaciones fertilizantes azufrado - borado (Formulación A y Formulación B). Los suelos incubados pertenecen a las Series Perquenco (Región de la Araucanía) y Valdivia (Región de los Ríos). Además, se realizó un estudio de campo para evaluar el efecto provocado por la aplicación de distintas dosis de una nueva formulación fertilizante (Formulación A), su efecto en el suelo y la absorción de las plantas, teniendo en cuenta la interacción suelo – pradera existente.

#### **3.2 Estudio de laboratorio**

##### **3.2.1 Descripción del estudio**

Este consistió en una incubación de suelo bajo condiciones controladas de humedad (60% de la capacidad máxima de retención de humedad del suelo, CMRH) y temperatura ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ). El período de evaluación tuvo una duración total de 120 días. Una vez aplicado el fertilizante, las muestras fueron llevadas a una cámara de incubación, desde donde fueron extraídas únicamente para realizar mediciones de algunos parámetros de condición y fertilidad de los suelos. Las evaluaciones se realizaron al inicio (día 0), 15, 30, 60 y 120 días desde la aplicación del fertilizante. Las muestras de suelo de ambas series fueron colectadas a una profundidad de 0 a 20 cm. Al momento de la evaluación, las muestras fueron llevadas a una cámara de secado, mantenida a una temperatura de 20 - 25°C, para luego tamizarlas a 2 mm.

##### **3.2.2 Descripción de los suelos**

Se colectaron dos tipos de suelo, ambos derivados de materiales volcánicos, uno perteneciente a la IX Región de la Araucanía, el cual según la descripción realizada por

TOSO (1985) corresponde a un suelo Pardo arcilloso descrito como Serie Perquenco. El otro, un suelo perteneciente a la XIV Región de los Ríos, clasificado como Serie Valdivia de acuerdo a la descripción de suelos hecha en el Estudio Agrológico de suelos de la X Región (2003). Este último correspondiente a un suelo desarrollado a partir de cenizas volcánicas, clasificado como Duric Hapludand. La caracterización inicial con el contenido de nutrientes de cada tipo de suelo estudiado se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Caracterización inicial completa (macro y micronutrientes) de los suelos estudiados en el estudio de incubación, Series Perquenco y Valdivia.

Parámetro medido		Serie Perquenco	Serie Valdivia
N	mg/kg	9,57	17,50
P	mg/kg	16,93	11,91
Materia Orgánica	g/100g	9,14	15,42
pH en agua	(1:2,5)	5,40	5,61
pH en CaCl <sub>2</sub>	(1:2,5)	4,81	4,81
S	mg/kg	3,40	6,47
B	mg/kg	2,47	1,21
Ca	cmol <sub>+</sub> /kg	5,38	1,92
Mg	cmol <sub>+</sub> /kg	0,17	0,73
K	cmol <sub>+</sub> /kg	0,66	0,20
Na	cmol <sub>+</sub> /kg	0,08	0,08
Suma deBases	cmol <sub>+</sub> /kg	6,30	2,93
Al int	cmol <sub>+</sub> /kg	1,09	0,29
Al ext	mg/kg	44,27	133,27
Sat de Al	g/100g	14,80	8,94
Fe	mg/kg	3,88	2,13
Cu	mg/kg	1,95	2,66
Zn	mg/kg	0,89	0,67
Mn	mg/kg	1,86	0,35

### 3.2.3 Caracterización de los fertilizantes

Preliminarmente, se realizó un análisis para determinar analíticamente el contenido de azufre elemental (S-S<sub>0</sub>), sulfato (S-sulfato), S total, Boro y carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), de cada una de las formulaciones estudiadas (Cuadro 3). El mismo análisis se realizó con el fertilizante S elemental, usado como control.

**Cuadro 3.** Contenido de S elemental, S-sulfato, S total, Boro y Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) en cada uno de los fertilizantes: S elemental (control), Formulación A y Formulación B. Estudio de incubación.

<b>Fertilizante</b>	<b>S elemental g/100g</b>	<b>S-sulfato g/100g</b>	<b>S total g/100g</b>	<b>Boro g/100g</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> g/100g</b>
S elemental	98,2	1,6	99,8	-	0,6
Formulación A	24,8	1,3	26,1	1,2	55,3
Formulación B	80,3	1,9	82,3	1,4	26,3

### 3.2.4 Adición de tratamientos.

Los fertilizantes se aplicaron en dosis de 100 y 500 mg S/kg de suelo. Las dosis expresadas en mg S/kg de suelo y kg de S/ha para cada suelo evaluado y su equivalencia en kg de fertilizante/ha de cada uno de los fertilizantes aplicados, se muestra en el Cuadro 4. Adicionalmente, se mantuvo un tratamiento control sin aplicación de fertilizante (dosis 0 kg de S/ha).

**Cuadro 4.** Dosis de fertilizante, expresado en mg S/kg y kg S/ha, aplicado a la Serie Perquenco y Valdivia, y su equivalencia en kg de fertilizante/ha.

<b>Serie de suelo</b>	<b>Dosis</b>		<b>Fertilizante aplicado (kg/ha)</b>		
	<b>mg S/kg</b>	<b>kg S/ha</b>	<b>Formulación A</b>	<b>Formulación B</b>	<b>S elemental</b>
Perquenco	100	238	915	296	238
	500	1188	4552	1479	1190
Valdivia	100	158	605	197	158
	500	792	3340	986	793

Para evaluar el comportamiento del suelo control (sin aplicación de azufre), se eligió una fuente azufrada de reacción conocida en el suelo, S elemental (99.98% de pureza), aplicado en dosis de 100 y 500 mg S/kg de suelo, en un diseño completamente al azar, con 4 repeticiones.

### **3.2.5 Diseño experimental**

El diseño experimental fue completo al azar, con 3 repeticiones y 3 niveles de azufre, evaluado en el tiempo.

### **3.2.6 Procedimiento de incubación**

El suelo correspondiente a cada serie de suelo se depositó en bolsas plásticas, cada una con 0,5 kg de suelo seco. Luego, se aplicaron los materiales fertilizantes en seco, con movimientos de agitación suaves y continuos, hasta lograr una completa homogenización del fertilizante con el suelo. Posteriormente, cada muestra fue humectada al 60% de la capacidad máxima de retención de humedad (CMRH), determinada previamente mediante el método de Capacidad máxima de retención de humedad. De este modo, a las Series Perquenco y Valdivia se les agregó 200 y 300 mL de agua destilada, respectivamente. Posteriormente, todas las muestras de suelo fueron llevadas a la Sala de Malherbología del Instituto de Producción y Sanidad Vegetal e ingresadas en una cámara de incubación, mantenida en condiciones aeróbicas, temperatura constante de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y ausencia de luz, durante 4 meses.

#### **3.2.6.1 Criterio de evaluación**

Se realizaron 5 mediciones en el tiempo, la primera de ellas correspondió a una caracterización inicial (día 0). En esta se midió el contenido de macro y micronutrientes. Posteriormente se realizaron mediciones intermedias a los 15, 30 y 60 días luego de la aplicación de los tratamientos, midiéndose parámetros de fertilidad y condición. Al cabo de 120 días de incubación, se realizó una caracterización final de macro y micronutrientes, de cada una de las muestras de suelo incubadas.

#### **3.2.6.2 Parámetros evaluados**

En cada uno de los tiempos de evaluación se realizó un análisis de suelo en todas las muestras de suelo, de acuerdo a la metodología establecida por la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, SADZAWKA et al., (2004).

Los parámetros evaluados fueron:

- Al inicio y final, día 0 y día 120 de incubación, respectivamente. Análisis completo de macro y micronutrientes. Se midió: S-sulfato extractable (extracción con fosfato de calcio), pH en agua y  $\text{CaCl}_2$  (medición potenciométrica, razón suelo: solución 1:2,5), Nitrógeno (extracción por destilación Kjeldahl), Fósforo (extracción con  $\text{NaCOOH}$  a pH 8,5), Materia Orgánica (método de extracción de Walkley y Black), Aluminio intercambiable (extracción con  $\text{KCl}$  1M), Bases de intercambio (extracción con acetato de amonio 1M a pH 7,0), Boro extractable (extracción con agua caliente) y micronutrientes como  $\text{Fe}^+$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Zn}^-$  y  $\text{Mn}^{-2}$  (extracción con  $\text{DTPA-CaCl}_2\text{-TEA}$  tamponado a pH 7,3).
- Tiempos intermedios (15, 30 y 60 días). Se midió el nivel de S-sulfato extractable (extracción con fosfato de calcio), pH en agua y  $\text{CaCl}_2$  (medición potenciométrica, razón suelo: solución 1:2,5), Aluminio intercambiable (extracción con  $\text{KCl}$  1M) y Bases de intercambio (extracción con acetato de amonio 1M a pH 7,0).

### **3.3 Estudio de campo**

El estudio se estableció sobre una pradera permanente ubicada en la Unidad Ovina de la Estación Experimental Santa Rosa de la Universidad Austral de Chile, a una distancia de 9,3 km al norte de la ciudad de Valdivia, a una altura de 10 m.s.n.m, con coordenadas 18H 651142 m (Este); 5596157 m (Norte) (WGS 84), en suelo perteneciente a la Serie Valdivia (Duric Hapludand). El sitio específico en que se estableció y desarrollo el estudio se determinó en base al nivel de azufre medido en el suelo.

#### **3.3.1 Duración del estudio**

La duración total del estudio fue de 490 días a contar de la aplicación del fertilizante, durante este período se realizaron 5 cortes a la pradera. Los tiempos correspondientes a cada cosecha del material vegetal correspondieron a los días 51 (31 de octubre de 2003), 133 (20 de enero de 2004), 308 (15 de julio de 2004), 395 (10 de octubre de 2004) y 490 (15 de enero de 2005), desde el inicio del estudio.

### 3.3.2 Caracterización química del suelo

A cada muestra de suelo colectada se le realizó una caracterización inicial, en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile, arrojando los siguientes valores, mostrados en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Caracterización química inicial de suelo. Serie Valdivia

Parámetros	
pH en agua (1:2,5)	5,72
pH en CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	4,77
Azufre (mg/kg)	6,00
P-Olsen (mg/kg)	11,30
Ca (cmol <sub>+</sub> /kg)	1,61
Mg (cmol <sub>+</sub> /kg)	0,61
K (mg/kg)	0,21
Na (cmol <sub>+</sub> /kg)	0,09
Suma de Bases (cmol <sub>+</sub> /kg)	2,51
Al intercambiable (cmol <sub>+</sub> /kg)	0,32
Saturación de Aluminio (gr/100g)	11,24

### 3.3.3 Establecimiento del estudio

Se delimitó un área de 0,1 ha, subdividida en 24 parcelas, cada una con una superficie de 18 m<sup>2</sup> (3 m \* 6 m). En cada una, se aplicó distinta dosis de fertilizante Formulación A. Adyacente al estudio, se estableció un bloque adicional con 6 parcelas de 7 m<sup>2</sup>, aplicando los mismos tratamientos, siendo utilizadas únicamente para realizar muestreos de suelo, evitando disturbar las parcelas de estudio. Los tiempos en que se muestreó suelo fueron los mismos en que se cosechó el material vegetal.

Los manejos culturales realizados correspondieron a labores típicas para el establecimiento de una pradera mixta de gramínea (*Lolium perenne cv Aries*) y



leguminosa (*Trifolium repens* cv Huia), sembrada en cobertera sobre una pradera permanente.

### **3.3.3.1 Prácticas culturales**

Las labores culturales se realizaron de acuerdo al siguiente calendario: regeneración, encalado y fertilización: 11 de Septiembre de 2003. Aplicación de tratamientos: 23 de Septiembre de 2003. La regeneración se realizó en cobertera, pasando dos veces una rastra offset en la misma dirección, permitiendo el ingreso de la semilla en el suelo. La aplicación de cal se realizó en cobertera, en la dosis de 2.000 kg  $\text{CaCO}_3$ /ha como Magnecal 15. La fertilización base correspondió a la aplicación de dosis de 100 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha como Superfosfato triple y 80 kg  $\text{K}_2\text{O}$ /ha como Muriato de potasio. Además se aplicó una dosis inicial de 30 kg N/ha como Nitram magnesio, repetida mensualmente alcanzando una dosis total de 360 kg N/ha.

### **3.3.3.2 Aplicación de tratamientos**

Se aplicaron 5 tratamientos, correspondientes a las dosis de 10 kg S/ha, 20 kg S/ha, 40 kg S/ha, 80 kg S/ha y 160 kg S/ha, más un control, sin aplicación de fertilizante. El material fertilizante fue la Formulación A, aplicado en cobertera en las dosis indicadas anteriormente. La descripción de la formulación fertilizante aplicada se presenta en el Cuadro 3.

### **3.3.4 Diseño experimental**

El diseño experimental se realizó en bloques completos al azar con 4 repeticiones y 6 niveles de azufre, evaluados en el tiempo.

### **3.3.5 Muestreo del material vegetal y suelo**

La cosecha del material vegetal se realizó con una máquina segadora de barra, manteniendo un residuo de 4 cm, eliminando 0,5 m y 0,9 m de cada lado para evitar el “efecto borde”. La totalidad de la muestra cosechada se pesó inmediatamente,

obteniendo el peso fresco de cada uno de los tratamientos (kg MV/ha). Luego, se determinó la productividad de la pradera (kg MS/ha), tomando 2 submuestras de cada parcela que fueron depositadas en bolsas de papel debidamente rotuladas y llevadas a un horno de secado de ventilación forzada mantenido a 60°C durante 72 horas o hasta obtener un peso constante. Adicionalmente, se tomaron submuestras para realizar análisis foliares y determinar la cantidad de nutriente (S-sulfato y Boro) absorbido por la pradera.

Los muestreos de suelo se realizaron al inicio (día 0), 17, 51, 133, 308, 395 y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Los muestreos llevados a cabo al inicio y 17 días desde la aplicación del fertilizante, fueron tomados a una profundidad de 0 a 20 cm. Posteriormente, los muestreos realizados a los 51, 133, 308, 395 y 490 días desde la aplicación del fertilizante fueron tomados a una profundidad de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

### **3.3.6 Parámetros evaluados**

#### **3.3.6.1 Material vegetal**

Una vez secas las muestras, fueron molidas en un molino Wiley a 2 mm., para determinar el contenido de S-sulfato y Boro, previa calcinación del material vegetal en presencia de nitrato de magnesio, utilizando el método de turbidimetría y colorimetría, respectivamente. Los parámetros medidos fueron: productividad de la pradera (kg MS/ha) y S-sulfato y B absorbido por las plantas, según los métodos establecidos por la Comisión Nacional de Acreditación, CNA (SADZAWKA, 2000).

#### **3.3.6.2 Suelo**

Las muestras de suelo colectadas fueron llevadas al laboratorio donde se determinó el contenido de S-sulfato disponible (extracción con fosfato de calcio), pH en agua y CaCl<sub>2</sub> (medición potenciométrica, razón suelo: solución 1:2,5), Aluminio intercambiable (extracción con KCl 1M), calculándose también la Saturación de Aluminio (g/100g), Fósforo (extracción con NaCOOH, pH 8,5), Bases de intercambio

(extracción con acetato de amonio 1M, pH 7,0), Aluminio extractable (extracción con acetato de amonio 1M, pH 4,8) y Materia Orgánica (método de Walkley y Black).

Al inicio (día 0) y al término del estudio (490 días), se realizó una caracterización completa de macro y micro nutrientes del suelo, de acuerdo a la metodología entregada por la CNA (SADZAWKA, 2000). En dichos tiempos se determinó el contenido de Boro extractable para evaluar su comportamiento en el tiempo.

### **3.3.7 Análisis estadístico**

En el estudio de incubación, se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) para cada medida en el tiempo, seguido de un Test de Tukey con un 95% de confianza, para determinar diferencias entre medias.

En el estudio de campo, se realizó un ANDEVA para cada medida en el tiempo, y si existían diferencias entre medias se realizó un test de Tukey, con un 95% de confianza. El programa estadístico utilizado fue Statistica v.6.0. Además, se realizaron análisis de regresión para describir las funciones que mejor se ajustan de acuerdo a los datos obtenidos en el estudio. Para ello, se utilizó el programa estadístico Graph Pad Prism v.4.0.

## 4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1 Estudio de incubación

En el estudio de incubación, se evaluó el efecto en el suelo de la aplicación de dos formulaciones fertilizantes azufradas más un fertilizante control. Los fertilizantes se aplicaron en distinta dosis sobre dos suelos derivados de materiales volcánicos con características químicas diferentes y distinto historial de manejo. Los materiales utilizados fueron: Formulación A, Formulación B y S elemental. Las muestras de suelo estudiadas pertenecían a la Serie Perquenco y Serie Valdivia.

#### 4.1.1 Evaluación de las dosis de fertilizante azufrado aplicado

A muestras de suelo de las dos series de suelo se les aplicó la dosis de 100 y 500 mg S/kg de suelo de cada uno de los fertilizantes. Las muestras fueron evaluadas antes de la aplicación presentando un nivel bajo de S-sulfato. Las dosis aplicadas se muestran en el Cuadro 4. Las variaciones del tratamiento control (sin aplicación de S), se muestra el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Disponibilidad de azufre disponible (S-SO<sub>4</sub>) en el suelo del tratamiento control (sin adición de fertilizante). Series Perquenco y Valdivia.

Tiempo (días)	Perquenco	Valdivia
0	3,4 a	6,5 a
15	3,9 a	7,0 a
30	2,9 a	9,9 b
60	2,8 a	7,1 a
120	3,1 a	7,8 a

\*: Letras distintas en la columna indican diferencia estadísticamente significativa, al 5%, Tukey.

En el Cuadro 6 se observa que las muestras del suelo Perquenco, presentaron una variación no significativa en el nivel de azufre disponible a través del tiempo. Las muestras del suelo Valdivia mostraron un incremento significativo del S-sulfato disponible en el suelo, en la medición hecha a los 30 días de incubación, disminuyendo posteriormente hasta alcanzar un nivel similar medido al inicio del estudio. Estas variaciones son usuales en estudios de incubación de azufre (VIDAL, 2003) y se atribuyen principalmente a los procesos de mineralización del S orgánico a S-sulfato e inmovilización de S-sulfato hacia S orgánico de los suelos (ALEXANDER, 1980).

El hecho que un suelo no presente variación significativa y el otro aumente para luego disminuir su contenido de S-sulfato nativo tiene relación con variaciones en el contenido de materia orgánica lábil de los suelos, implicando variaciones en la mineralización del azufre orgánico. Esto se debe a que las muestras de Perquenco mantienen un historial de manejo de suelo de cultivos sucesivos de cereal con quema de residuos. En tanto, las muestras del suelo Valdivia corresponden a una pradera permanente de más de 20 años. Está demostrado que la variación del historial de ingreso de residuos influye drásticamente sobre la mineralización de la materia orgánica (PINOCHET et al., 2000). Un bajo ingreso de residuos implicaría un bajo contenido de S-sulfato y una escasa variación de su contenido durante la incubación, ya que el crecimiento de la biomasa microbial sería bajo o en su mínimo (escasez de C). Por su parte, la incubación en suelos con alto nivel de residuos vegetales, produciría una mineralización inicial del S orgánico a S-sulfato y una posterior inmovilización para continuar la degradación de los residuos vegetales, especialmente cuando los niveles de S son bajos o medios como fue el caso de las muestras de suelo Valdivia.

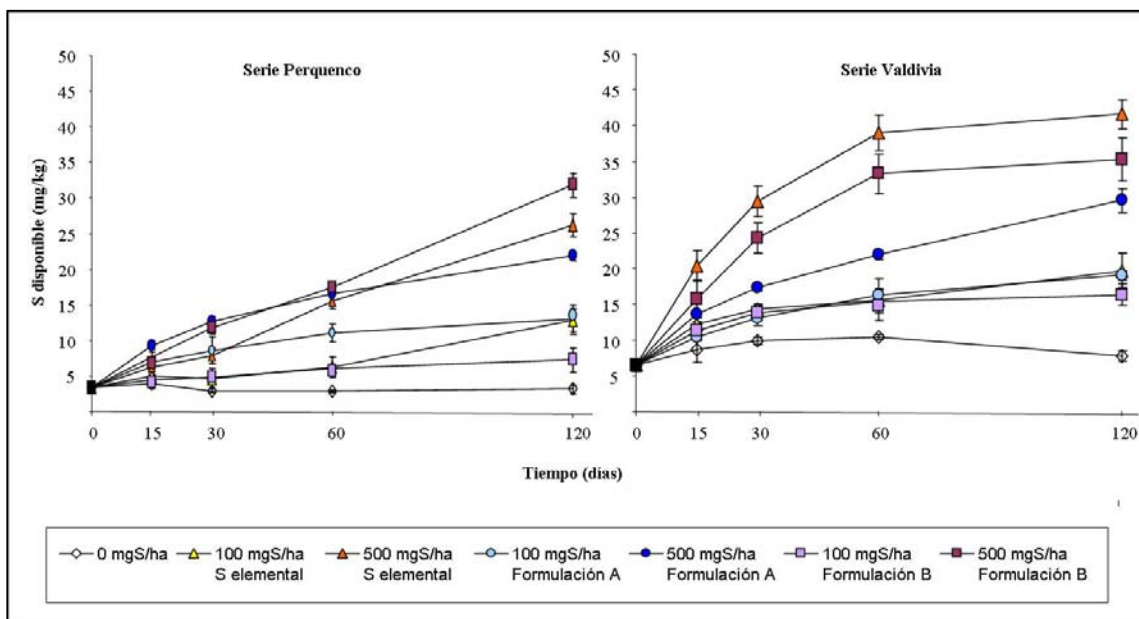
Con el objetivo de evaluar el efecto que provoca la aplicación de distinta dosis de cada uno de los materiales fertilizantes en el suelo, se restó el valor del suelo control, permitiendo mostrar solo la variación del contenido de S-sulfato disponible en el suelo durante el período en que se llevó a cabo la incubación (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Variación de S-sulfato disponible en el suelo sobre el nivel del control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.

Días	Dosis de S aplicado en mg S/kg de suelo					
	S elemental		Formulación A		Formulación B	
	100	500	100	500	100	500
Serie Perquenco						
15	1,1 a	2,3 a	0,6 a	5,4 a	3,0 a	3,8 a
30	1,8 a	4,9 b	1,9 b	9,7 b	5,7 b	8,9 b
60	3,4 a	12,6 c	3,2 b	13,8 c	8,2 c	14,7 c
120	9,6 b	23,1 d	4,1 c	18,7 d	9,8 c	28,6 d
Serie Valdivia						
15	3,5 a	11,7 a	2,7 a	4,9 a	1,8 a	7,1 a
30	4,5 a	19,5 b	4,0 a	7,4 b	3,1 b	14,3 b
60	5,2 b	28,5 c	4,9 b	11,4 c	5,9 c	22,8 c
120	11,9 c	33,8 c	8,5 c	21,7 d	11,2 d	27,4 c

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

Las muestras de ambas series de suelo evaluadas incrementaron significativamente el nivel de S disponible a través del tiempo, después de la aplicación de todos los fertilizantes azufrados, en las distintas dosis evaluadas. En la dosis de 100 mg S/kg se muestra que los fertilizantes tienden a comportarse en forma similar entre los tres fertilizantes evaluados y el retardo provocado por la adición de carbonato de calcio a la Formulación A, no se evidencia claramente. En la dosis de 500 mg S/kg el fertilizante Formulación A tiende a mostrar un menor incremento en los niveles de S que los fertilizantes S elemental (control) y el fertilizante Formulación B, particularmente a los 120 días de evaluación. Esto se atribuye a la entrega más lenta de los niveles de S-sulfato de la Formulación A. Ello era esperable, ya que la Formulación A presenta en su composición niveles de carbonato de Ca que neutralizan la acidez producida por el fertilizante durante su solubilización, pero al mismo tiempo el contenido de Carbonato de Ca puede afectar a la biomasa microbiana que efectúa la transformación de S elemental en S-sulfato.



**Figura 2.** Contenido de S-sulfato disponible en el suelo con la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).

Como se observa en la Figura 2, las aplicaciones de fertilizante no produjeron un incremento lineal del contenido de S disponible en el tiempo y mostraron diferentes comportamientos dependiendo del tipo de suelo. Esto implicaría que el comportamiento de los fertilizantes evaluados podría ser diferente según el tipo de suelo. En el suelo Perquenco, de menor contenido inicial de S-sulfato y el menor ingreso de residuos orgánicos implicaría una menor inmovilización del S-sulfato permitiendo un incremento del S constante a través del tiempo en todos los fertilizantes aplicados. Por su parte, las muestras del suelo Valdivia con un nivel más alto de S-sulfato inicial y mayor ingreso de residuos en su manejo muestran una tendencia a no incrementar el S-sulfato por sobre los 60 días. Ello podría deberse a una mayor inmovilización del S o en su defecto a reacciones de adsorción del S en el suelo que no permiten que se encuentre disponible. Ha sido mostrado por VIDAL (2003) que en suelos volcánicos ácidos existe adsorción de S-sulfato por medio de las arcillas, lo que podría afectar el incremento de S dependiendo del tipo de suelo.

#### **4.1.2 Parámetros de acidez y condición del suelo**

La Formulación A de fertilizante presenta un contenido de carbonato de Ca el cual puede neutralizar, al menos parcialmente, la acidificación en el suelo producida por la oxidación del S elemental hacia S-sulfato. Para evaluar esto se realizó una determinación de la variación del pH en agua y cloruro de calcio, aluminio intercambiable y saturación de aluminio del suelo en que se desarrolló el estudio de campo.

##### **4.1.2.1 Variación del pH en agua (1:2,5) y del pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5)**

En los cuadros 8 y 9 se muestra la variación de los valores de pH en agua y en cloruro de calcio, respectivamente, descontando el valor de pH de las muestras sin adición de fertilizante, utilizados como control. De esta forma, los valores positivos o negativos representan un incremento o disminución del pH con respecto al control sin aplicación.



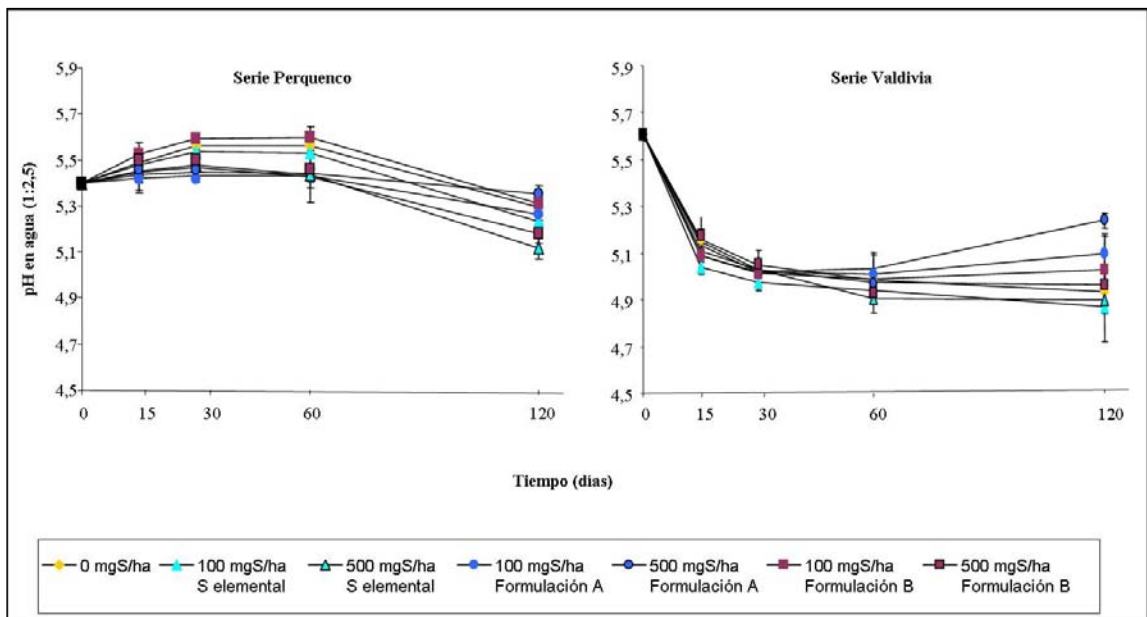
**Cuadro 8.** Variación del pH medido en agua (1:2,5) sobre el nivel del control sin aplicación, luego de aplicar distintas dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.

Días	Dosis de S aplicado en mg S/kg de suelo					
	S elemental		Formulación A		Formulación B	
	100	500	100	500	100	500
Serie Perquenco						
15	-0,01 a	-0,04 a	-0,07 a	-0,06 a	0,03 a	-0,04 a
30	-0,03 a	-0,08 a	-0,13 a	-0,12 a	0,03 a	-0,10 b
60	-0,03 a	-0,13 b	-0,13 a	-0,12 a	0,04 b	-0,14 b
120	-0,06 b	-0,18 c	-0,03 b	0,06 b	0,01 a	-0,12 b
Serie Valdivia						
15	-0,12 a	-0,05 a	-0,07 a	-0,03 a	-0,07 a	-0,01 a
30	-0,08 a	-0,02 a	-0,03 a	-0,03 a	-0,04 a	-0,02 a
60	-0,04 a	-0,08 b	0,02 a	0,05 a	0,00 a	-0,01 a
120	-0,06 a	-0,03 b	0,17 b	0,31 b	0,10 b	0,03 b

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

\*\* Valores positivos indican un incremento y negativos una disminución de pH con respecto al tratamiento control, sin adición de fertilizante.

Como se observa en el Cuadro 8, los valores de pH mostraron diferencias estadísticamente significativas, mostrando que la oxidación del S elemental contenido en el fertilizante produce acidificación en ambos suelos. El S elemental y el fertilizante Formulación B incrementan la acidez del suelo con respecto al tiempo. Así, a los 120 días de incubación mostraron el delta negativo mayor en ambas dosis aplicadas. Por su parte, el fertilizante Formulación A, a los 60 días en el suelo Valdivia y a los 120 días en el suelo Perquenco muestra delta valores de pH positivos indicando que la acidez producida por la transformación del S elemental a S-sulfato ha sido neutralizado por su contenido de carbonato de Ca, de forma tal que incluso muestra valores de pH más alto que el control y los otros fertilizantes.



**Figura 3.** pH en agua (1:2,5) luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).

La Figura 3 muestra los valores de pH en agua obtenidos. Se observa que el comportamiento de pH de ambos suelos fue distinto durante la incubación. Las muestras del suelo Perquenco tienden a aumentar el valor de pH con la incubación para luego decrecer a valores inferiores que el valor inicial. Por su parte, las muestras del suelo Valdivia, decrecen el valor de pH con la incubación para luego tender a volver y se observa que solo la formulación A de fertilizante tiende hacia el valor inicial o a mantenerse acidificados dependiendo del fertilizante aplicado. Sólo la formulación A es la que en ambos suelos tiende a mantener el pH en forma más estable en el suelo, no produciendo grandes modificaciones y tendiendo a volver al final de la incubación al valor más alto de todos los valores de pH determinados. Estos resultados son concordantes con la formulación del fertilizante, es decir, con su contenido de carbonato de Ca que se está disolviendo en el suelo, neutralizando la acidificación. Sin embargo, el contenido de carbonato de Ca no es lo suficientemente alto como para cambiar la tendencia natural de variación del pH de los suelo producidos por la incubación. Así, se

confirma que la tendencia de variación de pH del suelo es dependiente del tipo de suelo y no del fertilizante aplicado y que el fertilizante aplicado solo la intensifica o la tiende a modificar levemente hacia el alza, en el fertilizante neutralizado.

**Cuadro 9.** Variación del pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) sobre el nivel del control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distinto tipo de suelo.

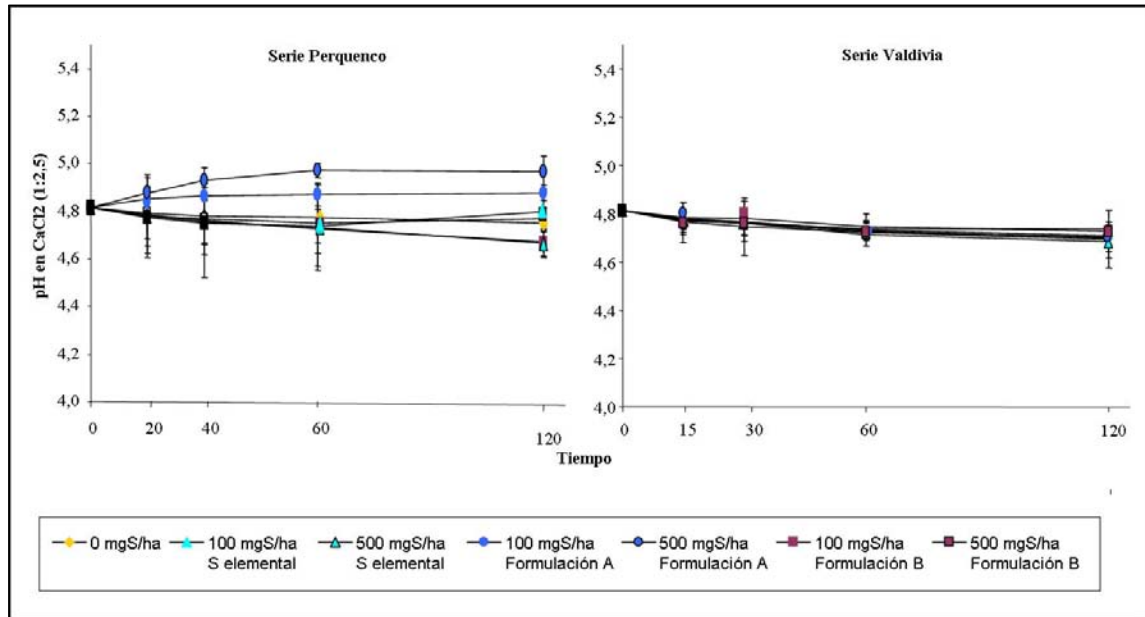
Días	Dosis de S aplicado en mg S/kg de suelo											
	S elemental		Formulación A				Formulación B					
	100	500	100	500	100	500	100	500				
Serie Perquenco												
15	-0,01	a	-0,01	a	0,06	a	0,09	a	-0,01	a	-0,02	a
30	-0,02	a	-0,03	b	0,08	b	0,15	b	-0,01	a	-0,03	b
60	-0,05	b	-0,04	b	0,09	b	0,20	c	-0,02	a	-0,04	b
120	-0,07	c	-0,08	c	0,13	c	0,22	c	0,02	b	0,05	c
Serie Valdivia												
15	-0,01	a	-0,01	a	-0,01	a	-0,02	a	0,00	a	-0,01	a
30	0,00	a	0,00	a	-0,01	a	-0,02	a	0,01	a	-0,01	a
60	-0,01	a	-0,02	a	0,00	a	-0,01	a	0,01	a	0,01	a
120	-0,02	a	-0,03	b	-0,01	a	-0,01	a	0,02	a	0,03	b

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

\*\* Valores negativos indican una disminución de pH en CaCl<sub>2</sub> con respecto al tratamiento control, sin adición de fertilizante.

La tendencia observada en el pH en agua solo se ratifica parcialmente en el pH en CaCl<sub>2</sub> (Cuadro 9). Las muestras de suelo Perquenco muestran un claro incremento en el valor de pH con la formulación A, en tanto en las muestras del suelo Valdivia, no se observa un cambio significativo del valor de pH. Estas aparentes contradicciones se deben a que los cambios de pH fueron bajos con respecto a los valores determinados para el suelo control. De esta forma, se puede afirmar que los cambios observados no son de una magnitud relevante, mostrando que las variaciones en la incubación se pueden deber a los factores que afectan la capacidad tampón de los suelos, es decir a la capacidad que tiene el suelo de mantener un valor de pH después de una irrupción

temporal por la adición de un fertilizante y probablemente a la actividad de la biomasa microbial, la que también afecta el pH de los suelos.



**Figura 4.** pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).

La Figura 4 muestra que las variaciones del pH en CaCl<sub>2</sub> fueron menores que las detectadas para el pH en agua, en ambos tipos de suelo. Se observa que los dos suelos se comportaron en forma diferente a los cambios de pH producidos por la adición de los fertilizantes. El suelo Perquenco, mostró una tendencia a que se presente una ligera alcalinización en cambio en el suelo Valdivia se mantiene mucho más constante, mostrando que el suelo Valdivia presenta una mayor capacidad tampón de pH que el suelo Perquenco. Estos resultados concuerdan con lo observado por PINOCHET et al., (2005) quienes determinaron que la capacidad tampón está asociada al tipo de suelo, indicado por su contenido de materia orgánica. El suelo Perquenco por su naturaleza de suelo pardo arcilloso presenta contenidos de materia orgánica inferior que el suelo Valdivia que es un trumao, tal como se observa en el Cuadro 2.

#### 4.1.2.2 Aluminio intercambiable y saturación de aluminio del suelo

Más confiable que las mediciones de pH son usualmente la determinación de incremento del Al intercambiable y la saturación de Al en los suelos, los cuales se incrementan con el cambio de pH. A mayor acidificación, mayor es el valor de Al intercambiable y de la saturación de Al. De esta forma, cuando existe un cambio de pH, el Al solubilizado se va a los sitios de intercambio, produciendo un reemplazo de otros cationes del complejo de intercambio, aumentando su nivel.

**Cuadro 10.** Variación del aluminio intercambiable en el suelo sobre el nivel del control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.

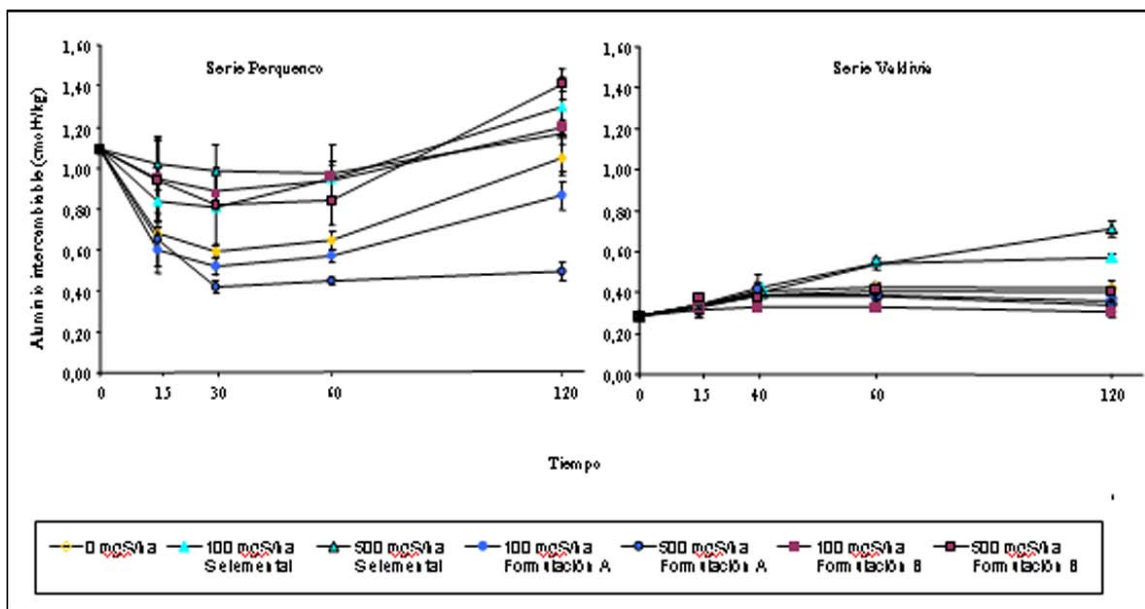
Días	Dosis de S aplicado en mg S/kg de suelo											
	S elemental		Formulación A				Formulación B					
	100	500	100	500	100	500	100	500				
Serie Perquenco												
15	0,16	a	0,34	a	-0,08	a	-0,03	a	0,27	a	0,26	a
30	0,22	b	0,39	a	-0,07	a	-0,17	b	0,30	b	0,23	b
60	0,30	c	0,33	a	-0,08	a	-0,20	b	0,29	b	0,20	b
120	0,25	b	0,12	b	-0,18	b	-0,56	c	0,15	a	0,36	c
Serie Valdivia												
15	0,01	a	0,00	a	-0,01	a	0,00	a	-0,02	a	0,01	a
30	0,02	a	-0,01	a	-0,02	b	-0,02	b	-0,07	b	-0,02	b
60	0,12	b	0,11	b	-0,04	b	-0,04	b	-0,09	b	-0,02	b
120	0,15	b	0,29	c	-0,06	b	-0,08	c	-0,11	b	-0,02	b

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

\*\* Valores positivos indican incremento y negativos una disminución del aluminio intercambiable con respecto al control, sin adición de fertilizante.

En el análisis de los datos presentados en el Cuadro 10, se muestran el incremento o decrecimiento de los valores de Al intercambiable respecto del suelo sin adición de fertilizante (control). Valores positivos implican un aumento por sobre el valor control indicando una mayor acidificación del suelo y un valor negativo implica un decrecimiento con respecto al control mostrando una ligera alcalinización del suelo.

Tal como se esperaba, el fertilizante S elemental incrementó los contenidos de Al intercambiable en ambos suelos y ambas dosis aplicadas. Una situación relativamente parecida se determinó para el fertilizante Formulación B, particularmente en el suelo Perquenco, aunque menos intensa en el suelo Valdivia con una ligera tendencia a mantener los valores de Al e incluso a decrecerlo, lo que fue estadísticamente significativo. Ello se debe en parte a que el fertilizante Formulación B tiene una pequeña neutralización que no es tan importante como la presentada en el fertilizante Formulación A.



**Figura 5.** Aluminio intercambiable en el suelo luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes azufrados, evaluados a través del tiempo. Estudio de incubación. Series Perquenco (izquierda) y Serie Valdivia (derecha).

Los datos presentados para el fertilizante Formulación A muestran claramente que el contenido de Al intercambiable disminuyó respecto del control en ambos suelos, siendo el efecto mayor en el suelo menos tamponado que es el suelo Perquenco y menor en el suelo más tamponado que es el Valdivia. Estos resultados ratifican que la Formulación A produce un cambio en el pH y por ende en la solubilización y precipitación del Al debido a la presencia de mayores contenidos de carbonato de calcio.

La Figura 5 muestra los valores de Al intercambiable de ambos suelos, se observa el incremento de Al intercambiable en el suelo Perquenco, de menor capacidad tampón de pH, producido por los fertilizantes S elemental y Formulación B. En tanto la aplicación del fertilizante formulación A provocó una disminución del valor de Al intercambiable. Por su parte, en el suelo Valdivia, de mayor capacidad tampón, los valores de cambio de Al intercambiable son menores, con un incremento producido por los fertilizantes más acidificantes.

**Cuadro 11.** Variación de la saturación de aluminio sobre el control sin aplicación, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo.

Días	Dosis de S aplicado en mg S/kg de suelo					
	S elemental		Formulación A		Formulación B	
	100	500	100	500	100	500
Serie Perquenco						
15	1,00 a	2,50 a	-1,30 a	-2,20 a	0,60 a	1,00 a
30	1,17 a	4,03 b	-0,97 a	-2,17 b	1,65 a	2,39 b
60	2,32 b	4,70 c	-1,52 a	-2,95 b	2,00 b	3,60 c
120	2,79 b	1,51 d	-6,93 b	-8,19 c	-0,02 c	2,74 d
Serie Valdivia						
15	0,20 a	-0,55 a	-1,29 a	-1,76 a	-0,10 a	0,40 a
30	1,17 b	-0,16 b	-0,99 a	-1,32 a	0,55 b	1,24 b
60	1,87 b	0,76 c	-1,00 a	-1,14 a	0,88 c	2,10 c
120	2,26 c	2,69 d	-1,27 b	-1,79 b	0,55 b	2,36 d

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

\*\* Valores positivos indican incremento y negativos una disminución de la saturación de aluminio con respecto al control, sin adición de fertilizante.

Los valores de saturación de Al ratifican lo observado para el Al intercambiable, lo que es esperado ya que la saturación de Al es la relación entre el Al intercambiable con respecto a la suma de bases de intercambio más Aluminio intercambiable expresados como porcentaje, tal como se observa en el Cuadro 11, donde son

presentadas las variaciones en la saturación de Al respecto al suelo control. Además, se espera que las diferencias sean acrecentadas ya que los fertilizantes con un contenido de carbonato de Ca aumentan el contenido de Ca intercambiable producto de la disolución del carbonato de Ca. De esta forma, las diferencias se incrementan para el suelo Perquenco de menor capacidad tampón y son menores en el suelo Valdivia, pero siguen la misma tendencia que la observada para el Al intercambiable.

#### **4.1.3 Variación del Boro extractable en el suelo**

Una diferencia importante entre las Formulaciones fertilizantes A y B y el fertilizante S elemental es el contenido adicional de B (Cuadro 3). De esta forma, se espera que los fertilizantes Formulación A y Formulación B presenten un aumento del B extractable de los suelos.

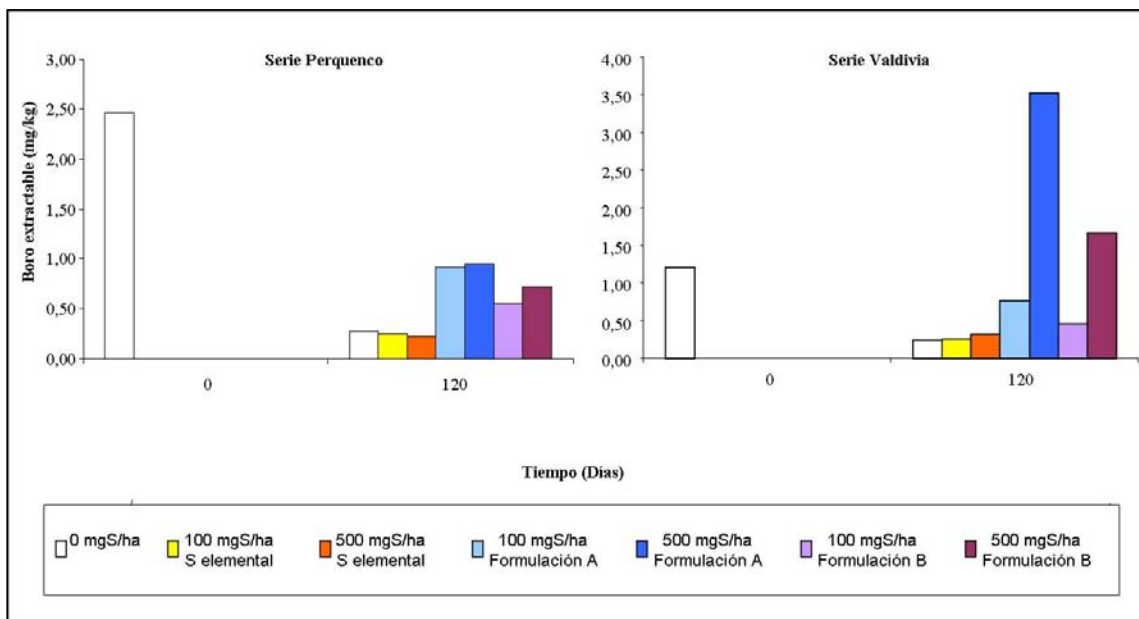
Cabe destacar que la incubación produjo una disminución del B extractable de los suelos, lo cual puede ser atribuido a procesos de sorción de los suelos, siendo aparentemente mucho mayor para el suelo Perquenco que para el suelo Valdivia (Figura 6). En Chile, existe poca información con respecto a la adsorción de B de los suelos, aunque se ha establecido que los suelos de carga variable presentan una mayor adsorción que los suelos de carga permanente (RODRIGUEZ, 1993).

Los resultados muestran, que la aplicación del fertilizante S elemental en ambas dosis (100 y 500 mg S/kg) no mostró diferencias estadísticas con el control sin aplicación de fertilizante tanto para el suelo Perquenco como para el suelo Valdivia, al ser comparado con el control sin aplicación de fertilizante.

El mayor incremento de B extractable de ambos suelos se determinó con la aplicación del fertilizante Formulación A, de acuerdo con su mayor contenido de B (Cuadro 2). Al agregar 100 mg S/kg, del fertilizante Formulación A, el suelo mostró un incremento en el contenido de boro extractable que fue inferior al medido inicialmente en el suelo. Ello muestra que existió sorción de B en ambos suelos. Con la aplicación



del fertilizante Formulación B en dosis de 100 mg S/kg, el suelo mostró un nivel de boro superior al logrado con el fertilizante S elemental e inferior al mostrado por el suelo tratado con el fertilizante Formulación A. Con la aplicación de dosis de 500 mg S/kg del fertilizante Formulación B, el suelo mostró un nivel de boro superior al logrado con igual dosis del fertilizante Formulación A.



**Figura 6.** Boro extractable del suelo al inicio y final de la incubación de suelo, luego aplicar distintas dosis de fertilizantes azufrados en distintos tipos de suelo. Serie Perquenco (derecha) y Valdivia (izquierda), respectivamente.

La variación que mostraron ambos tipos de suelo, luego de aplicar distintas dosis de fertilizantes azufrados es concordante con el contenido de boro de cada una de las formulaciones. De esta manera, se pudo observar un mayor incremento luego de aplicar el fertilizante Formulación A, con un mayor porcentaje de este nutriente en su formulación, a diferencia de los fertilizantes S elemental y Formulación B (Cuadro 3).

#### 4.2 Estudio de campo

En el estudio de campo, se evaluó el efecto provocado en el suelo por la aplicación de distintas dosis de fertilizante azufrado – borado, considerando la

interacción suelo – planta que existe en una pradera. El estudio se realizó sobre suelo de la Serie Valdivia. El material fertilizante utilizado fue la Formulación A, aplicado a una pradera naturalizada de la Unidad Ovina de la Estación Experimental de Santa Rosa. Los parámetros evaluados fueron productividad, absorción de azufre y boro por las plantas, parámetros de acidez (pH, Al intercambiable, Calcio intercambiable, Saturación de Al) y azufre y boro extractables en el suelo.

#### 4.2.1 Evaluación de la dosis de fertilizante aplicado sobre la productividad (kgMS/ha) de la pradera

La pradera fue tratada con dosis de 10, 20, 40, 80 y 160 kg S/ha, del fertilizante Formulación A, más un control sin aplicación (dosis 0 kg S/ha). La pradera durante el periodo de evaluación obtuvo una productividad promedio de 25 ton MS/ha. El rendimiento alcanzado en los diferentes tratamientos a través del tiempo se muestra en el Cuadro 12.

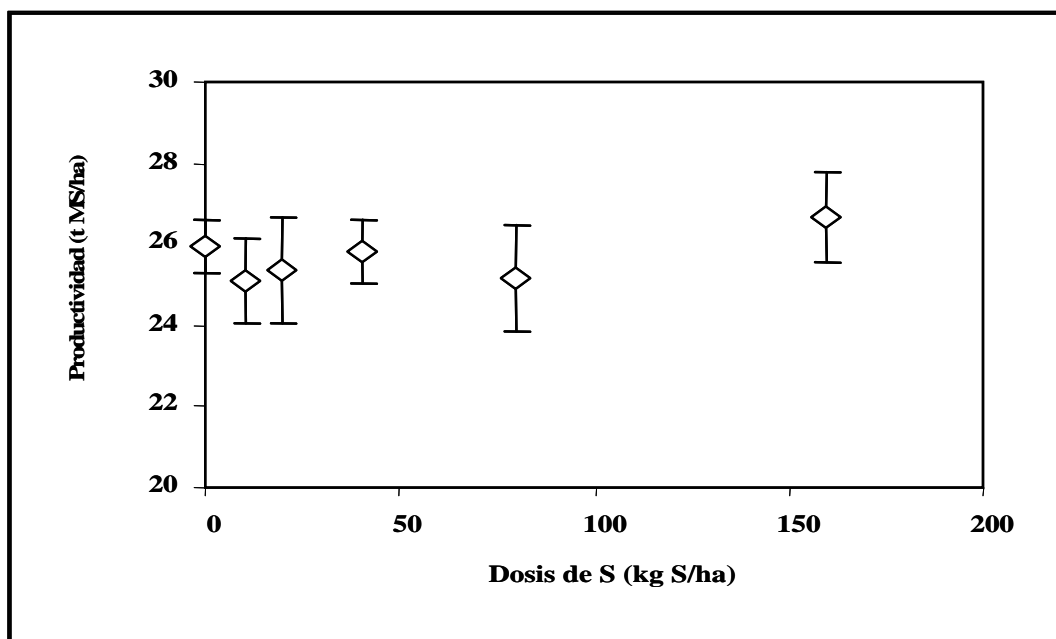
**Cuadro 12.** Rendimiento obtenido en distintos cortes de la pradera, luego de aplicar distinta dosis del fertilizante Formulación A.

Dosis (kg S/ha)	Corte 1 31 Oct	Corte 2 20 Ene	Corte 3 15 Jul	Corte 4 10 Oct	Corte 5 15 Ene	Total
0	5.479 a	5.963 a	3.641 a	3.588 a	7.266 a	25.937 a
10	4.841 a	5.799 a	3.525 a	3.618 a	7.058 a	24.842 a
20	5.158 a	5.855 a	3.424 a	3.957 a	6.971 a	25.364 a
40	5.101 a	6.220 a	3.692 a	3.624 a	7.197 a	25.832 a
80	5.003 a	5.885 a	3.614 a	3.912 a	6.762 a	25.176 a
160	5.286 a	5.527 a	4.039 a	4.115 a	7.462 a	26.429 a

\* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El cuadro 12 muestra que el rendimiento obtenido por la pradera en los diferentes cortes realizados no presentó variaciones significativas con las distintas dosis de fertilizante, durante el período en que se llevó a cabo el estudio. Las mayores producciones se obtuvieron en los cortes 1 y 2 que promediaron entre 5.145 y 5.875 kg

MS/ha/corte, con una disminución en los cortes 3 y 4, alcanzando valores promedios de 3.656 y 3.802 kg MS/ha/corte. Se incluyó un corte adicional, dejando crecer la pradera hasta un promedio de 7.120 kg MS/ha/corte para evaluar un mayor rendimiento de la pradera, ya que hasta el corte 4 no fueron detectadas diferencias estadísticamente significativas. Pese a ello, no hubo diferencias significativas en el crecimiento del corte 5, ni en el total de la pradera. La productividad total luego de aplicar distinta dosis de fertilizante Formulación A, se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Productividad total de la pradera luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.

A pesar que el nivel inicial de S extractable era de 6,0 mg/kg, no se determinó un efecto de la dosis de aplicación de fertilizante, sobre el rendimiento de la pradera. Ello, no era esperable dado que se ha establecido que 6 mg S extractable/kg de suelo es un valor que permitiría una productividad media de la pradera (PINOCHET, 1990). Ello puede deberse a que no se consideró la mineralización de S orgánico en estos suelos, lo que de acuerdo con la literatura neozelandesa (MORTON et al., 1999) podría influir en la absorción de S de la pradera y su adecuada nutrición para obtener altos rendimientos.

En Chile, aun no existe una metodología apropiada y aceptada para estimar el S potencialmente mineralizable de los suelos.

#### 4.2.2 Absorción de azufre y boro por las plantas

A pesar de la falta de respuesta en rendimiento de la pradera a las adiciones de S, la aplicación de distintas dosis de la Formulación A en la pradera, mostró un incremento en la cantidad de azufre y boro absorbido por las plantas. Los niveles absorbidos por la parte aérea de la pradera, se muestran en el Cuadro 13.

**Cuadro 13.** S-sulfato y Boro total absorbido por las plantas, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante azufrado – borado sobre una pradera. Estudio de campo. Serie Valdivia.

Dosis (kg S/ha)	Absorción de azufre (kg S/ha)		Absorción de boro (mg B/ha)	
<b>0</b>	38,7	c	193,6	d
<b>10</b>	39,4	c	237,2	c
<b>20</b>	40,5	b	269,0	bc
<b>40</b>	42,1	b	326,8	b
<b>80</b>	44,4	b	374,5	ab
<b>160</b>	48,9	a	477,6	a

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 13 muestra las cantidades de S y Boro absorbidas por la parte aérea cosechada de la pradera. Los resultados muestran que a mayor dosis de S (aplicado como fertilizante Formulación A) más S fue absorbido por la pradera. La cantidad de S absorbido por la pradera varió entre 38,7 kg S/ha en el control, sin adición de fertilizante a 48,9 kg S/ha con la dosis de 160 kg S/ha del fertilizante Formulación A. Se observa un incremento significativo a partir de la aplicación de 20 kg S/ha, el cual fue máximo y estadísticamente significativo en la dosis de 160 kg S/ha. Estos resultados implican que existió solubilización de S desde el fertilizante aplicado, lo cual explica la mayor absorción de S observada en la pradera.

Adicionalmente, el fertilizante Formulación A en su formulación contiene Boro (Cuadro 3), esperándose un incremento en la cantidad de boro absorbido por las plantas. La absorción total de boro mostró un incremento con respecto a la dosis de fertilizante aplicado. Las cantidades de Boro que absorbió el cultivo variaron entre 193,6 mg B/ha en el control sin adición de fertilizante y 477,6 mg B/ha al aplicar la dosis de 160 kg S/ha, equivalente a 8 kg B/ha, ya que el fertilizante presenta una formulación de 26% de S y 1,2 % B.

Los cuadros 14 y 15 muestran las cantidades de S y Boro absorbidos por la pradera, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante y evaluado en distintos cortes a través del tiempo.

**Cuadro 14.** Azufre absorbido por la pradera (kg S/ha) a través del tiempo, evaluado en distintos cortes, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.

	<b>Corte 1</b>		<b>Corte 2</b>		<b>Corte 3</b>		<b>Corte 4</b>		<b>Corte 5</b>	
<b>Dosis (kg S/ha)</b>	<b>31 Oct</b>		<b>20 Ene</b>		<b>15 Jul</b>		<b>10 Oct</b>		<b>15 Ene</b>	
<b>0</b>	9,85	b	8,37	b	6,28	b	5,74	c	8,46	c
<b>10</b>	8,90	b	7,82	c	6,49	b	7,25	b	8,94	c
<b>20</b>	10,26	a	7,94	c	6,18	b	7,18	b	8,96	c
<b>40</b>	8,94	b	8,96	b	6,83	b	7,06	b	10,32	b
<b>80</b>	9,24	b	10,58	a	6,60	b	7,85	b	10,13	b
<b>160</b>	10,73	a	10,40	a	7,70	a	9,01	a	11,07	a

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El análisis de los valores que muestra el Cuadro 14 indica que existió respuesta en la absorción de S por parte de la pradera desde el primer corte, aunque un claro efecto de los tratamientos se muestra a partir del corte 3. Así, en el corte 4, de octubre de 2004 y corte 5, de enero de 2005, se muestra un claro efecto de la dosis aplicada de fertilizante Formulación A sobre la absorción de S de la pradera.

Los datos de absorción (Cuadro 14) implican que el fertilizante evaluado mostró una lenta liberación de S-sulfato al inicio, la cual se va incrementando en la medida que este fertilizante se va transformado desde S elemental a S-sulfato. Los resultados muestran que la solubilización hacia S-sulfato es clara desde los 133 a los 308 días de la aplicación, ya que la pradera presentó un aumento significativo consistente con la dosis aplicada en su absorción, lo cual, además, es coincidente con lo determinado en el estudio de incubación, ratificando que este fertilizante es de lenta liberación.

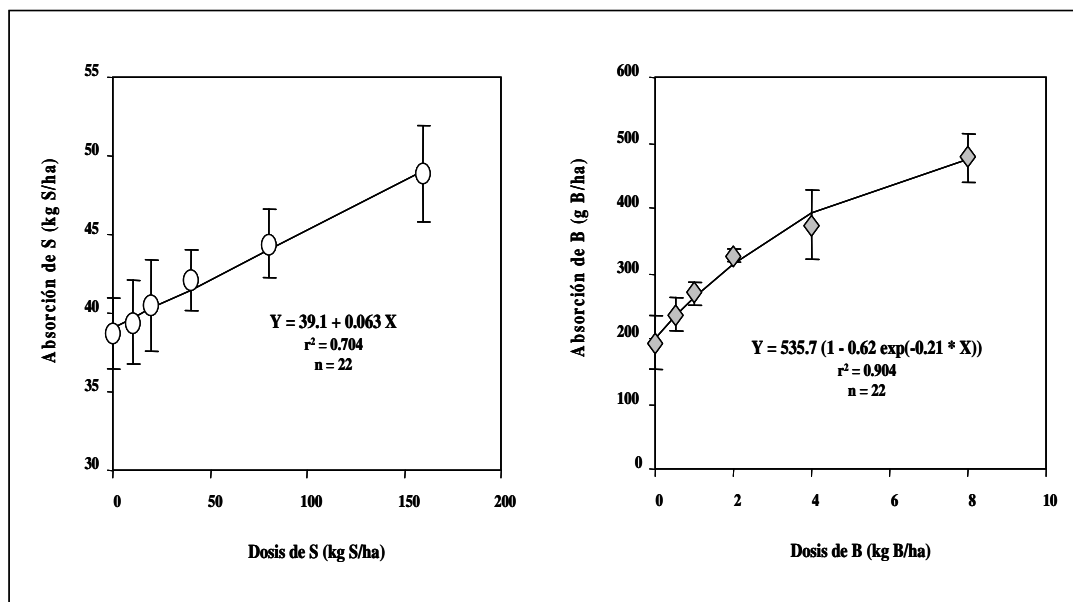
**Cuadro 15.** Boro total absorbido por la pradera (g B/ha), evaluado en distintos cortes en el tiempo, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A.

	<b>Corte 1</b>	<b>Corte 2</b>	<b>Corte 3</b>	<b>Corte 4</b>	<b>Corte 5</b>
<b>Dosis (kg S/ha)</b>	<b>31 Oct</b>	<b>20 Ene</b>	<b>15 Jul</b>	<b>10 Oct</b>	<b>15 Ene</b>
<b>0</b>	39,4 e	28,2 d	16,4 e	18,2 e	91,4 e
<b>10</b>	48,3 d	33,8 c	19,8 d	21,8 d	113,5 d
<b>20</b>	62,5 c	38,5 c	22,9 d	25,6 d	119,5 d
<b>40</b>	67,3 c	54,2 b	37,7 c	31,8 c	135,8 b
<b>80</b>	88,3 b	70,1 a	44,7 b	41,7 b	129,7 c
<b>160</b>	126,9 a	76,0 a	55,7 a	56,5 a	162,5 a

\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 15 muestra la absorción de B por la pradera, que varió significativamente en cada uno de los cortes realizados. Se observa un claro efecto de la dosis de fertilizante aplicada sobre la absorción de B por la pradera, a partir del primer corte (a los 51 días desde la aplicación), implicando que la liberación de B contenido en el fertilizante, fue independiente de la solubilización del S del fertilizante y por lo tanto la absorción de las plantas fue significativamente diferente desde el inicio de su aplicación.

El incremento en la variación de S y B por la pradera, luego de agregar distintas dosis de fertilizante Formulación A, se muestra en la Figura 8



**Figura 8.** Relación entre la dosis de fertilizante Formulación A aplicado en el suelo y la cantidad de azufre total (izquierda) y boro total (derecha) absorbido por la pradera.

La Figura 8 muestra el incremento lineal de la cantidad de S total absorbido por la pradera (suma de los cinco cortes), al agregar distintas dosis de fertilizante al suelo. La regresión lineal ajustada muestra un valor de la pendiente que implica que la absorción de S de la pradera fue de 0,063 kg S por cada kilo de S aplicado/ha, partiendo de un nivel de 39,1 kg S/ha ( $r^2$ : 0,70). Ello, muestra que la eficiencia de absorción de S por la pradera fue constante y corresponde a 6,3 % desde el fertilizante aplicado.

El incremento mostrado en la absorción de B por la pradera frente a dosis crecientes del fertilizante Formulación A no fue lineal, ajustándose a una regresión cuadrática. Ello implica que por sobre la dosis de 2 kg B/ha (equivalente a la dosis de 80 kg S/ha, correspondiente a 4 kg B/ha) los incrementos en absorción de B se muestran decrecientes. Ello implica que dosis mayores a 160 kg S/ha aplicados como fertilizante Formulación A podrían producir efectos tóxicos en la pradera por excesiva absorción de B. Es reconocido el efecto tóxico que puede producir la aplicación de excesivas dosis de

B, incluso en suelos de alta capacidad de retención de boro, como son los Andisoles (PINOCHET, 1990). Además, en general se recomienda no aplicar dosis por sobre 4 kg B/ha en suelos deficientes de B de Chile (RODRIGUEZ et al., 2001).

#### 4.2.3 Variación del azufre extractable en el suelo

Las muestras de suelo colectadas a distinta profundidad fueron analizadas antes del establecimiento del estudio y presentaron bajos niveles de S disponible. La variación a través del ensayo del S disponible del tratamiento sin aplicación de fertilizante (dosis 0 kg S/ha) se muestra en el Cuadro 16.

**Cuadro 16.** Disponibilidad de S–sulfato en el suelo, medido a dos profundidades, en el control sin aplicación de fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.

Días	0 a 10 cm			10 a 20 cm		
	promedio	d.e.		promedio	d.e.	
<b>0</b>	6,00	0,00	b	6,00	0,00	b
<b>17</b>	7,04	0,87	a	7,04	0,87	a
<b>51</b>	5,51	1,40	c	5,33	0,38	c
<b>133</b>	5,73	0,84	b	6,00	0,70	b
<b>308</b>	3,07	0,07	d	3,51	0,19	d
<b>395</b>	3,09	0,59	d	3,14	0,34	d
<b>490</b>	3,59	0,38	d	3,15	0,30	d

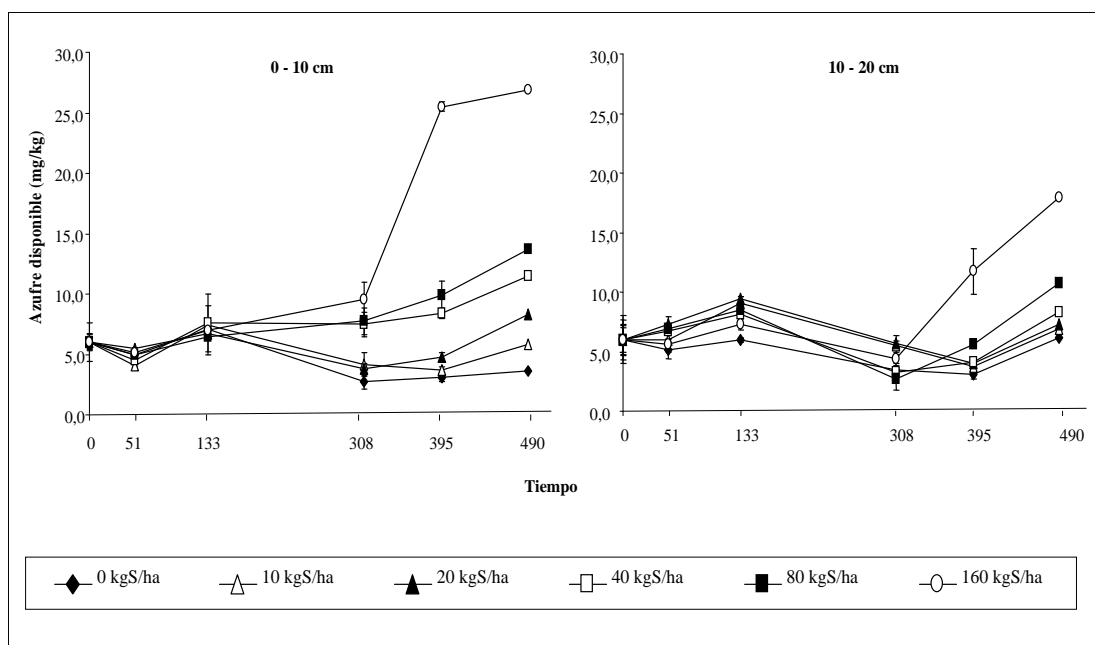
\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 16 muestra que la variación del S-sulfato disponible en la profundidad de 0 a 10 cm disminuyó a través del tiempo, lo mismo que en la profundidad de 10 a 20 cm. Sin embargo, se detectaron variaciones en las mediciones puntuales en el tiempo. Se observó que hasta el día 133 desde el inicio del ensayo, existe una tendencia a mantener el nivel de S en el suelo, a pesar de la absorción de S hecha por las plantas. Ello puede deberse a la mineralización de S orgánico en el suelo, que no fue evaluado en este estudio. Las variaciones mostradas por el suelo son normales y se relaciona con el sucesivo ingreso de residuos de la pradera provocando un efecto sobre la mineralización



e inmovilización de la materia orgánica y en algún grado a la absorción que realizan las plantas e incluso a reacciones de adsorción del S-sulfato, impidiendo que se encuentre disponible en el suelo.

La aplicación de distintas dosis del fertilizante Formulación A, mostró una variación significativa del nivel de S-sulfato disponible en el suelo a través del tiempo, la cual se aprecia en la Figura 9.



**Figura 9.** S-sulfato disponible en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y 10 a 20 cm (derecha), luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo. Serie Valdivia.

La Figura 9 muestra la variación del S-sulfato disponible a dos profundidades de muestreo. De 0-10 cm, el suelo mostró que la aplicación de dosis menores a 20 kg S/ha, tienen un incremento significativo del S-sulfato a partir de la medición hecha a los 395 días desde la aplicación del fertilizante. Por su parte, dosis de entre 40 y 160 kg S/ha, producen una variación que se incrementó significativamente con respecto al suelo control, a partir de los 308 días de evaluación. Esto muestra que la época en que se

produce un incremento en los niveles de S-sulfato extractable del suelo es estadísticamente diferente, dependiendo de la dosis aplicada. Sin embargo, el retraso en la aparición de S-sulfato, puede deberse a que la proporción de S transformado a sulfato desde el fertilizante aplicado en dosis menores, fue absorbido por el cultivo y no se detecta en el análisis de suelo. Ello sería concordante con que a mayor dosis, más temprano aparece detectado el S-sulfato en el análisis de suelo y por otro lado, concordante con el hecho de que la pradera aumenta su contenido de S absorbido claramente a partir de los 133 días (corte 2).

Con el objetivo de evaluar el efecto provocado por la aplicación de distintas dosis del fertilizante Formulación A en el suelo del estudio de campo, se descontó el valor del tratamiento sin aplicación de S, permitiendo de esta forma mostrar la variación del valor del contenido de S-sulfato disponible en el suelo proveniente desde el fertilizante a través del tiempo en que se llevó a cabo el estudio (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Variación de azufre disponible en el suelo con respecto al control sin aplicación, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante azufrado.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
17	0,34 d	1,73 c	0,08 d	0,41 e	-0,80 e
51	-0,40 e	0,96 d	0,16 c	0,34 e	0,42 e
133	2,39 b	2,24 b	1,99 b	1,64 d	1,29 d
308	1,55 c	1,46 c	2,10 b	3,63 c	4,93 c
395	0,57 d	3,00 a	1,18 c	5,00 b	15,53 b
490	3,01 a	2,78 a	6,56 a	6,83 a	19,03 a

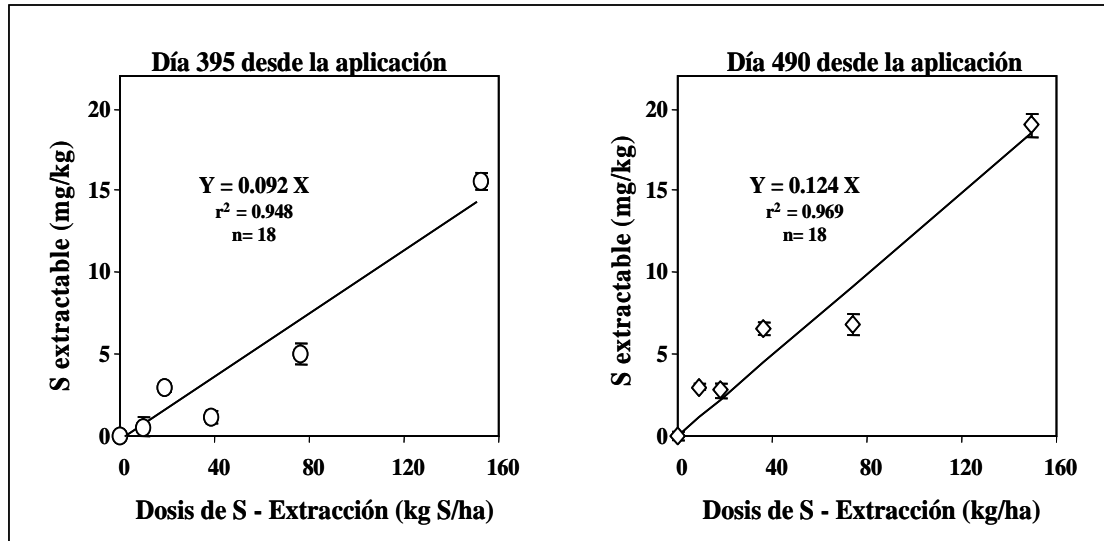
\*: Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 17 muestra un incremento del S-sulfato en el suelo con distintas dosis de fertilizante aplicado. Las variaciones registradas de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm se muestran en el Anexo 8 y 9, respectivamente. De 0 – 20 cm, se muestra un incremento claro del S-sulfato en todas las dosis aplicadas, a partir del día 133 desde la aplicación del fertilizante. El aumento del S-sulfato que mostró el suelo se mantuvo a través del tiempo con la aplicación de las distintas dosis de fertilizante. El fertilizante aplicado en dosis de hasta 20 kg S/ha mostró en la evaluación hecha a los 490 días desde la aplicación del fertilizante, un nivel de S-sulfato similar al medido al inicio del estudio. Las dosis de 40 y 80 kg S/ha presentaron un incremento similar y estadísticamente significativo del S-sulfato medido en el suelo. El mayor incremento en el contenido de S-sulfato del suelo se observó en las muestras de suelo tratadas con la dosis de 160 kg S/ha, alcanzando a 19 mg S/kg por sobre el valor del control sin aplicación de fertilizante.

La variación del S-sulfato determinada al aplicar dosis de 10 y 20 kg S/ha se debería a que estas dosis son cercanas a la dosis de mantención. Ello implica que la cantidad de S aplicado es similar a la cantidad de S extractado por la pradera (Cuadro 14), lo que hace difícil detectar variaciones en el suelo. De esta forma, la aplicación de dosis por sobre 40 kg S/ha, presentan un incremento más claro en el tiempo, en función de la dosis aplicada, ya que están por sobre la cantidad de S extractado por la pradera.

Cuando se agrega un material fertilizante, se espera provocar un efecto en el suelo en un determinado período de tiempo, incrementando la cantidad de nutriente en el suelo aplicado. La Figura 10 muestra la relación que existe entre el S aplicado (kg S/ha) y el contenido de S-sulfato disponible en el suelo (mg S/kg) a una profundidad de 0 a 20 cm, durante el período en que se realizó el estudio de campo. La Figura 10 muestra la variación del contenido de S-sulfato extractable, descontando de la dosis aplicada la extracción producida por la pradera por sobre el control sin aplicación de S fertilizante. Además, los valores son del incremento de S-sulfato, descontando los valores de S extractado desde el suelo, el valor de S-sulfato del control sin aplicación de fertilizante.

De esta forma, los valores de incremento de S-sulfato son relativos a la dosis real de fertilizante que quedó disponible en el suelo para incrementar el nivel de S disponible en el suelo, de acuerdo al método de extracción utilizado.



**Figura 10.** Variación del S-sulfato disponible en el suelo, de 0 a 20 cm, en función de la dosis de S aplicado menos la extracción de la pradera, a los 395 días y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.

Los ajustes mostrados en la Figura 10, se realizaron en función de una ecuación lineal con un intercepto de cero (0) y se ajustaron a una ecuación lineal para facilitar la aplicación agronómica de este parámetro. El ajuste a un intercepto de cero, es porque si no hay aplicaciones de fertilizante, se espera que no haya un incremento en el S extractable por sobre el valor mostrado por el control.

De 0 a 20 cm, la cantidad de S-sulfato disponible en el suelo incrementó, ajustándose a las ecuaciones  $Y = 0,092X$  e  $Y = 0,124X$ , a los 395 y 490 días desde la aplicación del fertilizante, respectivamente. De esta forma, en la evaluación realizada a los 395 días desde la aplicación del fertilizante, por cada 10,9 kg S/ha aplicado en el suelo, la cantidad de S disponible en el suelo se incrementó en 1 mg S-sulfato/kg de suelo. A su vez, a los 490 días desde la adición del fertilizante Formulación A, el

incremento fue que por cada 8,1 kg de S/ha se incrementa 1 mg S-sulfato por kg de suelo. Ello, implica que existe un efecto residual de la aplicación del fertilizante con el fertilizante Formulación A, que se va incrementando en la medida que el fertilizante se va solubilizando en el tiempo, lo que en este caso, significó un aumento de 2,8 mg/kg en 95 días que transcurrieron entre el cuarto y quinto corte.

#### 4.2.4 Variación del Boro extractable en el suelo

La formulación fertilizante utilizada en este estudio de campo contiene boro (Cuadro 3). Su aplicación por lo tanto, permitirá que haya un incremento en el contenido de B extractable en el suelo, una vez que comienza a ser liberado desde el fertilizante. La variación del boro extractable en el suelo, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A, se muestra en el Cuadro 18.

**Cuadro 18.** Variación de Boro extractable en el suelo, sobre el valor del control sin aplicación de fertilizante, medido de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.

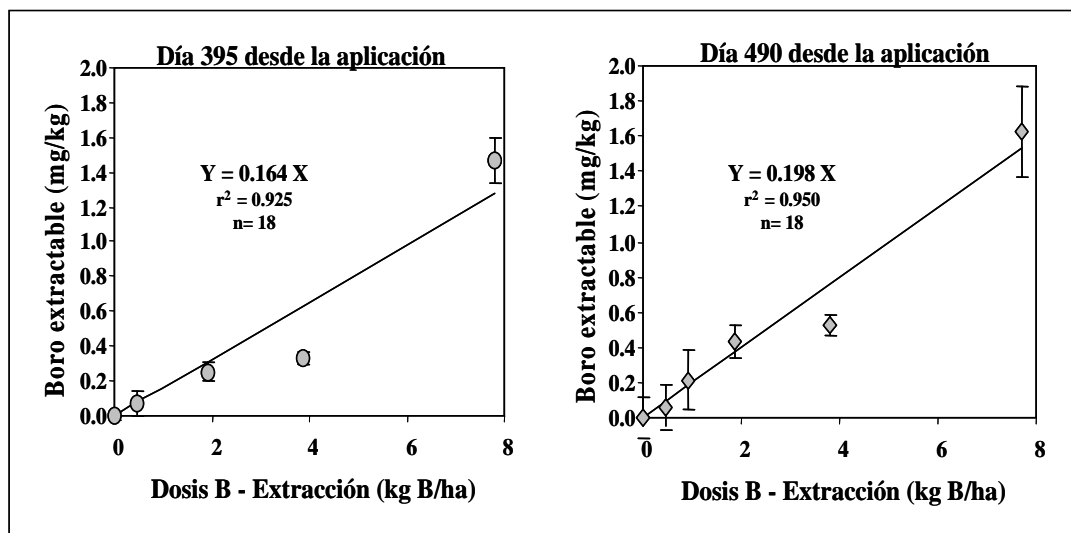
Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
<b>17</b>	0,10 c	0,22 a	0,09 c	0,18 c	0,33 c
<b>51</b>	-0,20 d	0,03 c	-0,39 d	-0,21 d	0,19 d
<b>133</b>	0,05 b	-0,02 d	0,13 c	-0,23 d	0,72 b
<b>308</b>	0,09 a	0,13 b	0,23 b	0,14 c	0,97 b
<b>395</b>	0,07 b	-0,01 d	0,25 b	0,33 b	1,46 a
<b>490</b>	0,06 b	0,21 a	0,43 a	0,52 a	1,63 a

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.

Los valores del Cuadro 18 muestran que luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A, el suelo mostró un incremento significativo en el contenido de B extractable a medida que la dosis aplicada aumenta. Las dosis de 10 y 20 kg S/ha (equivalente a 0,5 y 1,0 kg B/ha) mostraron la menor variación del B extractable, a través del tiempo, volviendo a un nivel similar al medido al inicio del estudio. La aplicación de dosis desde 40 kg S/ha (2 kg B/ha) muestran un incremento significativo del B extractable del suelo, durante el transcurso del estudio. La dosis equivalente a 160 kg S/ha (8 kg B/ha) presentó el mayor incremento en el B extractable por sobre el valor del control sin aplicación de fertilizante.

La disminución de los valores de B extractable durante el estudio, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante se atribuye a procesos de sorción de los suelos, los cuales se encuentran relacionados con la materia orgánica (B en complejos orgánicos) y las arcillas que se encuentran presentes en el suelo. TISDALE, (1993) señala que la disponibilidad de B en el suelo depende, entre otros factores, del tipo de suelo (tipo de arcilla), pH y materia orgánica.

La Figura 11 muestra la relación entre el B aplicado (kg B/ha) descontado la extracción de la pradera y el incremento relativo del contenido de B extractable en el suelo (mg B/kg) a una profundidad de 0 a 20 cm, en los dos últimos cortes realizados en este estudio de campo. Este análisis es equivalente al realizado para el azufre extractable, anteriormente y mostrado en la Figura 11.



**Figura 11.** Variación del B extractable en el suelo, de 0 a 20 cm, en función de la dosis de B aplicado menos la extracción de la pradera, a los 395 días y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Estudio de campo. Serie Valdivia.

La Figura 11 muestra que de 0 a 20 cm, la regresión lineal ajustada muestra en la evaluación hecha a los 395 días, una pendiente de 0,164 mg B/kg por cada kg B aplicado por hectárea y una pendiente de 0,198 mg B/kg por cada kg B/ha aplicado. Lo anterior representa que la adición de 6 kg B/ha del fertilizante Formulación A aumenta en 1 mg B/kg el contenido de B extractable en el suelo, lo que implica que el efecto residual se logra con la aplicación de 6 kg B/ha a los 395 días y con 5 kg B/ha a los 490 días desde la aplicación del fertilizante aplicado. La relativa estabilidad del B deducida desde esta evaluación implica que presenta un efecto residual con una ligera tendencia hacia la disminución del B extractable y que es consistente con lo determinado para aniones que sufren adsorción específica, después de una liberación total desde el fertilizante hacia la solución, como ha sido determinado para superfosfato triple en el caso del fósforo (PINOCHET, 2006)

#### 4.2.5 Variación de los parámetros de acidez y condición del suelo

El fertilizante Formulación A contiene carbonato de Ca en su composición, contenido adicionado para neutralizar, al menos en parte, el efecto acidificante que

producen los fertilizantes azufrados formulados en base a S elemental que son aplicados al suelo, debido a la oxidación hacia S-sulfato a partir de S elemental. Con el objetivo de evaluar el efecto provocado por la aplicación de distintas dosis del fertilizante Formulación A, se determinó la variación de pH en agua y CaCl<sub>2</sub>, aluminio intercambiable y la Saturación de aluminio durante el período en que se llevó a cabo el estudio.

#### 4.2.5.1 Variación del pH en agua (1:2,5) y del pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5)

Los cuadros 19 y 20 resumen la variación del pH medido en agua y cloruro de Ca, respectivamente en las muestras de suelo tomadas de 0 a 20 cm. Los valores mostrados se encuentran restados del valor del suelo control sin aplicación de fertilizante, obteniéndose el efecto provocado por la aplicación de distintas dosis del fertilizante Formulación A. Valores positivos representan un incremento del pH por sobre el valor del control y los valores negativos representan una disminución del pH por debajo del valor del control sin aplicación de fertilizante.

**Cuadro 19.** Variación de pH medido en agua (1:2,5), sobre el nivel del control sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante Formulación A.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
<b>17</b>	0,32 a	0,02 b	0,14 a	-0,08 c	0,10 a
<b>51</b>	-0,13 d	-0,13 d	-0,10 c	-0,01 b	-0,05 c
<b>133</b>	0,11 b	-0,18 d	-0,21 d	-0,27 d	-0,13 c
<b>308</b>	0,12 b	0,17 a	0,08 b	0,08 a	0,07 b
<b>395</b>	0,03 c	-0,15 d	0,05 b	-0,07 c	0,03 b
<b>490</b>	-0,03 d	-0,07 c	-0,23 d	-0,11 c	-0,24 d

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.



**Cuadro 20.** Variación de pH medido en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo, sobre el nivel del control sin aplicación de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distinta dosis de fertilizante Formulación A.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
<b>17</b>	0,03 c	-0,15 d	-0,12 c	-0,21 c	-0,12 c
<b>51</b>	-0,04 d	-0,08 c	-0,05 b	0,00 a	0,02 b
<b>133</b>	0,28 a	0,00 b	-0,09 b	-0,01 b	0,05 b
<b>308</b>	0,08 b	0,11 a	0,08 a	0,04 a	0,04 b
<b>395</b>	0,12 b	0,06 b	0,03 a	0,00 a	0,14 a
<b>490</b>	0,00 c	-0,05 c	-0,20 d	-0,09 b	-0,18 c

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.

Los valores de pH muestran que el fertilizante tiende a mantener el valor de pH de los suelos. De esta forma se determinó una variación de pH de entre valores positivos de 0,3 unidades de pH a -0,25 unidades de pH. Esta variación, en general fue errática, con una tendencia a ser mayor la disminución de pH a los 133 días desde la aplicación del fertilizante, para luego alcalinizar ligeramente el suelo, volviendo a decaer a los 490 días desde su aplicación. Esta variación parece ser más bien estacional y no se debe a un efecto consistente producido por el fertilizante aplicado. Así, las dos épocas más ácidas correspondieron a las evaluaciones realizadas en el período estival, particularmente en el mes de enero de 2004 (133 días de la aplicación) y enero del año siguiente (490 días de la aplicación). Las variaciones estacionales de pH han sido reconocidas desde hace años en los suelos y en general, siempre se estima que el valor natural de pH es más ácido en el verano que en los meses de invierno (HAVLIN et al., 1999). Sin embargo, en este caso, se descontó el valor del control, esperando que ello disminuyera los efectos estacionales. De estos resultados, se puede especular que la adición de fertilizante acentúa los efectos de la variación estacional de pH.

#### 4.2.5.2 Variación del Aluminio intercambiable, Ca intercambiable y la saturación de aluminio del suelo

El contenido de aluminio intercambiable y la saturación de aluminio del suelo se correlacionan con el pH del suelo. La adición de carbonato de Ca incorporado a través del fertilizante provocó un efecto neutralizante en el suelo, actuando frente a la acidificación provocada por la transformación de S elemental en S-sulfato. La variación de Al intercambiable del suelo sobre el valor del suelo control sin aplicación, luego de agregar distintas dosis de fertilizante Formulación A, se muestra en el Cuadro 21.

**Cuadro 21.** Variación de aluminio intercambiable en el suelo, sobre el nivel del control, medido sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de aplicar distinta dosis de fertilizante Formulación A.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
17	-0,05 c	0,07 a	0,06 b	0,16 a	0,04 b
51	-0,01 b	0,05 a	0,00 c	-0,07 d	-0,04 c
133	-0,13 d	0,01 b	0,11 a	0,05 b	0,02 b
308	-0,04 b	-0,04 c	0,00 c	0,00 c	-0,01 c
395	-0,06 c	0,01 b	0,02 c	0,02 b	-0,03 c
490	0,07 a	0,02 b	0,15 a	0,03 b	0,09 a

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 21 muestra que existió variación en el Al intercambiable con la aplicación de distintas dosis de fertilizante, encontrándose entre valores de -0,13 a + 0,15 cmol<sub>+</sub>/kg de suelo. Estas variaciones fueron significativas, sin embargo son erráticas y bajas. Además, son concordantes con las variaciones de pH. En general, se puede indicar que la aplicación del fertilizante en promedio mantiene o tiende a incrementar ligeramente el valor de Al intercambiable del suelo. Así, el valor promedio

de incremento del Al intercambiable en todas las dosis de fertilizante y en todos las épocas de medición corresponde a  $0,017 \pm 0,063$  cmol<sub>+</sub>/kg.

Otra variable relevante a medir es el Ca intercambiable, ya que si hay disolución del carbonato de Ca contenido es esperable un aumento en el contenido de Ca del suelo. En el Cuadro 22 se muestra la variación del Ca intercambiable en el suelo, luego de aplicar distintas dosis de fertilizante Formulación A, medidas de 0 a 20 cm y evaluadas en el tiempo.

**Cuadro 22.** Variación del Ca intercambiable, sobre el valor del control sin adición de fertilizante, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
17	-0,47 e	0,22 c	-0,29 c	-1,21 e	-0,04 d
51	-0,44 e	-0,95 d	-0,70 d	-0,60 d	-0,04 d
133	1,74 a	-0,10 e	-0,38 c	-0,02 d	0,51 c
308	0,10 d	1,16 a	1,36 a	0,25 c	0,82 c
395	1,26 b	0,89 b	1,00 a	1,45 a	2,87 a
490	0,68 c	0,33 c	0,54 b	0,77 b	1,20 b

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.

El Cuadro 22 muestra que la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A varió estadísticamente el contenido de Ca intercambiable a través del tiempo, siendo en general mayor el incremento con la dosis más alta. Estos resultados muestran que mayores dosis de fertilizante, presentaron contenidos de Ca mayores, por lo que la acidificación producida por la solubilización del S elemental y su

transformación a S-sulfato está siendo neutralizada por dosis crecientes de carbonato de Ca.

Adicionalmente, la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A mostró un incremento del Ca intercambiable a través del tiempo. El suelo mostró hasta los 133 días desde la adición del fertilizante una tendencia general a mostrar valores menores de calcio intercambiable con respecto al valor del suelo sin adición de fertilizante. Ello se revierte a partir del día 133 en que a partir de este punto los valores de Ca intercambiable se van incrementando a valores positivos por sobre el valor presentado por el suelo sin adición de fertilizante y el incremento es mayor en la medida que la dosis aumenta. Esta diferencia de tendencia marcada en el día 133 desde la aplicación, ratifica que es a partir de esta fecha en que los efectos de la solubilización del fertilizante Formulación A, son detectables bajo las condiciones del agroecosistema de Valdivia, en producción de praderas.

La saturación de aluminio, es un parámetro integral entre la disminución o mantención del Al intercambiable y el aumento del Ca intercambiable, producido por la adición del fertilizante. Se espera que su valor tienda a ser más pequeño que el valor del control a través del tiempo, como resultado de los efectos sobre el Al intercambiable y el Ca intercambiable.

**Cuadro 23.** Variación de la saturación de Al del suelo, con respecto al valor del control sin aplicación, a una profundidad de 0 a 20 cm, luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A.

Tiempo	Dosis aplicada de fertilizante Formulación A, en kg S/ha				
	10	20	40	80	160
<b>0 a 20 cm</b>					
<b>17</b>	0,28 b	1,75 b	2,28 c	1,89 a	1,31 a
<b>51</b>	1,25 a	4,98 a	1,99 d	-1,99 d	-0,14 b
<b>133</b>	-8,65 c	0,53 c	6,17 a	0,22 b	-2,61 c
<b>308</b>	-5,87 d	-2,23 d	0,39 e	-1,67 d	-4,00 d
<b>395</b>	-6,08 c	0,30 c	2,02 c	-0,03 c	-4,20 d
<b>490</b>	0,63 b	0,51 c	3,14 b	-0,03 c	1,81 a

\*: Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la columna, al 5%, Tukey.

Los valores del Cuadro 23 muestran que en general el valor de la saturación de Al disminuyó tanto a través del tiempo como con las dosis mayores aplicadas. Sin embargo, su variación está en el orden del 5% con incrementos y decrecimientos erráticos por sobre el valor del suelo sin aplicación de fertilizante. En promedio, la aplicación del fertilizante disminuyó la saturación de Al en 0,2%, con una desviación estándar de  $\pm 3,2\%$ . Esto muestra que la variación ocurrió alrededor del valor mostrado por el suelo control.

Considerando, las variaciones de pH del suelo y los efectos en el Al intercambiable y la saturación de Al de los suelos, estos resultados implican que el fertilizante Formulación A no produce una acidificación del suelo, más allá de las variaciones normales que ocurren en las mediciones usuales de acidez de suelo. Sin embargo, los efectos de esta neutralización son evidentes más a partir de los 133 días desde su aplicación, en donde se comienza a mostrar la oxidación del S elemental a S-sulfato y comienza la neutralización del carbonato de Ca aplicado en el fertilizante.

## 5 CONCLUSIONES

Del estudio de incubación de los fertilizantes derivados de S elemental se concluye que:

Todos los fertilizantes azufrados evaluados incrementan el contenido de azufre disponible de los suelos, dependiendo de la dosis de fertilizante aplicada. Los fertilizantes S elemental y Formulación B tienen un comportamiento similar en la entrega de nutriente durante la incubación de suelo, mientras que el fertilizante Formulación A tiene una entrega más lenta en el tiempo, produciendo un menor incremento en el contenido de S-sulfato a través del tiempo.

La variación de los parámetros de acidez del suelo producida por los fertilizantes evaluados es dependiente del tipo de suelo y del fertilizante aplicado. El pH de los suelos se acidifica al agregar los fertilizantes S elemental y la Formulación B en tanto que el fertilizante Formulación A produce una menor variación del pH del suelo, concordando con su formulación química neutralizada. El aluminio intercambiable y la saturación de Al de ambos suelos refleja en mejor forma la reacción acidificante de los fertilizantes evaluados.

El nivel de boro extractable se incrementa con la aplicación de los fertilizantes de acuerdo a su formulación (contenido de B) y la magnitud del incremento es dependiente del tipo de suelo.

De la evaluación de campo del fertilizante Formulación A se concluye que:

A pesar de no detectarse un incremento en la productividad de la pradera permanente con un nivel medio de S-sulfato extractable, se determinó un incremento en la absorción de S-sulfato y B de la pradera en función de la dosis de fertilizante aplicado, sosteniendo que el fertilizante liberó S-sulfato y boro a la solución de suelo.

El contenido de S-sulfato extractable y Boro extractable del suelo aumentó con el incremento de la dosis de fertilizante aplicado, requiriéndose 10,8 kg S/ha para incrementar 1 mg S-sulfato/ kg de suelo y 6,1 kg B/ha para aumentar 1 mg B/kg de suelo a los 395 días desde la aplicación.

La aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A no provoca mayor variación en el pH de los suelos, mas allá de la variación normal de los suelos derivados de materiales volcánicos. Del mismo modo, el contenido de aluminio intercambiable del suelo, no mostró un efecto significativo, coincidiendo con la variación de pH mostrada por el suelo.

El Ca intercambiable del suelo incrementó su valor en función de la dosis de fertilizante aplicado, demostrando una solubilización de carbonato de Ca desde el fertilizante. A su vez, la saturación de Al disminuyó en la medida que la dosis aplicada aumenta, concordando con la mantención mostrada por el Al intercambiable y un incremento del Ca intercambiable del suelo.

Este estudio muestra que el fertilizante estudiado es de lenta solubilidad pudiendo ser aplicado a praderas permanentes en suelos volcánicos sin producir una acidificación excesiva e incrementando el contenido de S y Boro disponibles en el suelo y permitiendo ser absorbidos por la pradera.

## 6 RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de dos nuevas formulaciones fertilizantes azufrado – borado (Formulación A con 26% S y 1,2% B y la Formulación B con 82% S y 1,4% B) más un fertilizante control (S elemental con 99% S y 0% B), en distinta dosis, sobre suelos derivados de materiales volcánicos, en condiciones de laboratorio y de fertilizante Formulación A en campo.

El estudio de incubación se realizó bajo condiciones controladas de humedad (60% de la CMRH) y temperatura ( $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) por un período de 120 días. Las muestras de suelo correspondieron a la Serie Perquenco y Serie Valdivia. Las dosis aplicadas fueron de 100 y 500 mg S/kg de suelo, manteniendo control sin aplicación de fertilizante. Lo mismo se realizó con el fertilizante control. Las evaluaciones se realizaron al inicio, 15, 30, 60 y 120 días desde la aplicación del fertilizante. Los parámetros evaluados correspondieron a S-sulfato disponible (mg S/kg) y variación de los parámetros de acidez y condición del suelo (pH en agua y  $\text{CaCl}_2$ , aluminio intercambiable y saturación de Al). Además se evaluó el comportamiento del contenido de Boro extractable en el suelo, al inicio y término del estudio.

El estudio de campo se realizó en una pradera de la Unidad Ovina de la Estación Experimental Santa Rosa de la UACH – Valdivia, teniendo en cuenta la relación suelo - pradera. El fertilizante aplicado correspondió al fertilizante Formulación A, en dosis de 10, 20, 40, 80 y 160 kg S/ha más un control sin aplicación de fertilizante, evaluado en distintos cortes a través del tiempo. Las evaluaciones fueron realizadas a dos profundidades: 0 a 10 y 10 a 20 cm y medidas al inicio, 51, 133, 308, 395 y 490 días desde la aplicación del fertilizante. Los parámetros evaluados fueron: productividad de la pradera (kg MS/ha), absorción de S y Boro de la pradera (kg S-sulfato/ha y kg B/ha, respectivamente), S-sulfato extractable (mg S/kg), Boro extractable (mg B/kg) y



parámetros de acidez y condición de suelo (pH en agua y cloruro de Ca, aluminio intercambiable, Ca intercambiable y saturación de Al), debido a que el fertilizante contenía Boro y carbonato de calcio en su formulación.

Los resultados obtenidos en el estudio de incubación, mostraron que todos los fertilizantes aplicados incrementan el contenido de S-sulfato disponible en el suelo, dependiendo de la dosis aplicada. La variación de los parámetros de acidez del suelo, dependen del tipo de suelo y del fertilizante aplicado, mostrando los fertilizantes Formulación A y B un efecto acidificante en función del contenido de carbonato de Ca. El contenido de Boro extractable del suelo en función del tipo de fertilizante aplicado y del tipo de suelo.

En el estudio de campo, los resultados muestran que a pesar que la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A no afectó el rendimiento en los cortes realizados y la productividad total de la pradera, si afectó la absorción de S-sulfato y B de la pradera e incrementó el nivel de S-sulfato y boro del suelo. El contenido de S-sulfato y B del suelo aumentó en función de la dosis de fertilizante aplicado, requiriéndose de dosis de 10,8 kg S-sulfato/ha para incrementar 1 mg S/kg de suelo y 6,1 kg B/ha para incrementar 1 mg B/kg de suelo. El pH del suelo no mostró variación más allá de la variación normal en este tipo de suelo. Del mismo modo, el aluminio intercambiable no mostró variación y la saturación de aluminio disminuyó según la dosis aplicada, debido a un incremento en el Ca intercambiable en función de la dosis de fertilizante aplicada.

## 7 SUMMARY

An evaluation of the application effect of two new sulphur – boron fertilizer formulations (Formulación A with 26% S and 1.2% B and Formulación B with 82% S and 1.4% B) plus a control fertilizer (elemental S with 99% S and 0% B), in different dose, on soils derived from volcanic materials, in conditions of laboratory and the Formulación A in field.

The incubation study was made under controlled conditions of humidity (60% of the CMRH) and temperature ( $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) by a period of 120 days. The soil samples corresponded to the Serie Perquenco and Serie Valdivia. The applied doses were of 100 and 500 mg of S/kg of soil, maintaining a control without application of fertilizer. The same it was made with the control fertilizer. The evaluations were made at the beginning, 15, 30, 60 and 120 days from the application of the fertilizer. The evaluated parameters corresponded to available S-sulphate (mg S/kg) and variation of the parameters of acidity and condition of the soil (pH in water and  $\text{CaCl}_2$ , interchangeable aluminium and Al saturation. In addition, the behavior of the extractable Boron content in the soil was evaluated, at the beginning and the end of the study.

The field study was made in a pasture of the Unidad Ovina of the Estación Experimental Santa Rosa of the UACH - Valdivia, considering the relation soil - pasture. The applied fertilizer corresponded to the fertilizer Formulation A, in dose of 10, 20, 40, 80 and 160 kg S/ha plus a control without application of fertilizer, evaluated in different harvest through the time. The evaluations were made at two depth: 0 to 10 cm and 10 to 20 cm and measured at the beginning, 51, 133, 308, 395 and 490 days from the application of the fertilizer. The evaluated parameters were: the pasture productivity (kg DM/ha), S-sulphate and Boron absorption of the pasture (kg S-sulphate/ha and kg B/ha, respectively), extractable S-sulphate (mg S/kg), extractable Boron (mg B/kg) and

parameters of acidity and condition of soil (pH in water and calcium chloride, interchangeable aluminium, interchangeable Ca and Al saturation, because the fertilizer contained Boron and calcium carbonate in its formulation.

The results obtained in the incubation study, showed that all the applied fertilizers increase the S-sulphate content available in the soil, depending on the applied dose. The variation of the parameters of acidity of the soil, depends on the type of soil and the applied fertilizer, showing to the fertilizers Formulation A and B an acidifying effect based on the carbonate content of Ca. The extractable Boron content of the soil based on the type of applied fertilizer and the type of soil.

In the field study, the results show that even the application of different doses from fertilizer Formulation A did not affect the yield in the harvest made and the total pasture productivity, if it affected the S-sulphate absorption and B of the pasture and increased the level of S-sulphate and boron of the soil. The content of S-sulphate and B of the soil increased based on the dose of applied fertilizer, requiring a dose of 10,8 kg S-sulphate/ha to increase 1 mg S/kg of soil and 6,1 kg B/ha to increase 1 mg B/kg of soil. Soil pH did not show variation beyond the normal variation in this type of soil. In the same way, the interchangeable aluminium did not show variation and the aluminium saturation diminished according to the applied dose, due to an increase in the interchangeable Ca based on the applied dose of fertilizer.

## 8 BIBLIOGRAFIA.

BRADY, N. 2000. Elements of the Nature and Properties of Soils. 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice Hall Inc. New Jersey – USA. 559 p.

CICHOTA, 2004. Sulphate leaching trough two contrasting New Zealand soils. 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference. [http://www.regional.org.au/au/asssi/supersoil2004/pdf/1496\\_cichotar.pdf](http://www.regional.org.au/au/asssi/supersoil2004/pdf/1496_cichotar.pdf). (20/05/2005).

CIREN, 2003. Estudio Agrológico de la X Región. Descripción de suelos, materiales y símbolos. Tomo I y II. Publicación CIREN N° 123. 412 p.

DELFOSE T, 2005. Acid Neutralization and Sulphur retention in S-impacted Andosols. Chapter 2 of a Ph.D. Thesis Louvain. Université catholique de Louvain. Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. pp. 7 – 26. <http://edoc.bib.ucl.ac.be> (16/6/05).

DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi-Prensa, 3era Edición. Madrid – España. 613p.

FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 420 p.

HAVLIN, J., BEATON, J., TISDALE, S. y NELSON, W. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Prentice – Hall. 6<sup>th</sup> edition. New Jersey, USA. 485 p.

- HU, Z. BEATON, J. CAO, Z. HENDERSON, A. 2002. Sulfate formation and extraction from red soil treated with micronized elemental sulfur fertilizer and incubated in closed and open systems. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 33 (11-12): 1779 – 1797.
- KERTESZ, M. The role of soils microbes in plant sulphur nutrition. *Journal of Experimental Botany*. Vol 55 n° 404. Original no consultado, Sulphur Metabolism in Plants Special Issue 2004, pp. 1939 – 1945.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 2<sup>nd</sup> Edition. Cambridge, UK. 889 p.
- McNEILL, A.M. 2005. Nitrogen and Sulphur management: challenges for organic sources in temperate agricultural systems. *Soil Use and Management*. 21: 82 – 93.
- MESSICK, D. FAN, M. 2003. Sulphur deficiencies in Asia and Pacific Regions: Importance of Sulphur fertilization. IFA Regional Conference for Asia and the Pacific. The Sulphur Institute. USA. 14 p.
- MILES, N. 2004. The Sulphur nutrition of crops and pastures. Original no consultado. Cedara Research Station. 4 p.
- MORTON, J., SMITH, L., METHEREL, A. 1999. Pastures yield responses to phosphorus, sulphur and potassium applications on North Otago soils, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 42: 133 – 146 p.
- OPAZO, J. 1982. Disponibilidad de Azufre en Suelos de la Región de Los Lagos. Tesis Magister scientiae Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 139 p.

- PASRICHA, N. y FOX, R. 1995. Plant Nutrient sulphur in the tropics and subtropics. *Advances in Agronomy*. 50: 209 – 269.
- PINOCHET, D. 2003. Dinámica del azufre en los sistemas agrícolas. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Apuntes de la Cátedra de Nutrición Vegetal. 8 p.
- PINOCHET, D., RAMIREZ, F. y SUAREZ, D. 2004. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de materiales volcánicos. *Agic. Técnica (Chile)*. 61 (1): 55 – 64.
- RHUE, R. y KAMPRATH, E. 1973. Leaching losses os sulfur during winter months when applied as gypsum, elemental S or prilled S. *Agronomy Journal*. 65: 603 – 605.
- RILEY, N. G., et al., 2000. Availability of different forms of sulphur fertilizers to wheat and oilseed rape. *Plant and soil*. 222: 139 – 147 p.
- RODRIGUEZ, J., PINOCHET, D., MATUS, F.J. 2001. Fertilización de los cultivos. Editorial LOM. Santiago. Chile. 117 p.
- SADZAWKA, A et al., 2004. CNA. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. CNA, Chile. 113p.
- STEVENSON F. J y COLE M. A., 1999. Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus Sulfur, Micronutrients. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA. 427 p.
- SUMNER, M. 1999. Handbook of soil science. CRC Press. USA. 2112p.

TAN, K. 1988. Soil reaction. In: Principles of Soil Chemistry. 3<sup>rd</sup> Edition. Marcel Dekker Inc. New York. USA. pp. 375 – 379.

TISDALE y NELSON, 1988. Soil Fertility and Fertilizers. 5<sup>th</sup> Edition. Macmillan Publishing Company. New York. USA. 634 p.

TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago – Chile. 723 p.

VIDAL, J. 2003. Evaluación de la capacidad de retención de sulfatos en distintos grupos de suelos chilenos. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 74 p.

WHITEHEAD, D., 2000. Nutrient elements in grassland. Soil – Plant – Animal Relationships. 1<sup>st</sup> Edition. CABI International Publishing. New York. USA. 369 p.

ANEXOS



**ANEXO 1.** Azufre disponible (mg/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	3,4	0,1	3,4	0,1	3,3	3,3	3,6	3,3	3,4	0,1	3,3	3,3	3,6	3,3
<b>15</b>	3,9	0,7	5,0	0,2	7,5	5,5	6,6	5,1	6,2	1,1	7,4	6,7	6,8	6,5
<b>30</b>	2,9	0,3	4,7	1,4	6,7	7,6	8,5	8,7	7,9	0,9	8,7	8,3	8,5	8,8
<b>60</b>	1,1	0,2	6,3	0,2	16,2	12,5	16,8	16,4	15,5	2,0	10,8	11,2	10,8	11,6
<b>120</b>	3,1	0,7	12,7	0,4	25,6	23,8	26,4	29,0	26,2	2,2	13,5	14,4	12,3	11,4

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	6,5	0,7	5,5	6,8	7,1	6,5	6,5	0,7	5,5	6,8	7,1	6,5	6,5	0,7
<b>15</b>	8,7	0,2	13,2	12,2	11,8	11,5	12,2	0,7	22,3	20,4	19,5	19,4	20,4	1,4
<b>30</b>	9,9	1,5	14,3	13,5	15,9	13,9	14,4	1,0	25,3	28,5	32,1	31,6	29,4	3,2
<b>60</b>	10,5	0,7	15,9	12,4	19,4	15,1	15,7	2,9	41,2	40,4	38,4	36,0	39,0	2,3
<b>120</b>	7,9	0,2	22,5	18,6	20,9	17,0	19,7	2,4	28,9	24,5	43,7	41,3	34,6	9,3

**ANEXO 2.** pH en agua (1:2,5) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	5,4	0,0	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	0,0	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	0,0
<b>15</b>	5,5	0,1	5,5	5,4	5,6	5,6	5,5	0,1	5,4	5,5	5,5	5,6	5,5	0,1
<b>30</b>	5,6	0,4	5,5	5,3	5,4	5,7	5,5	0,2	5,3	5,8	5,6	5,2	5,5	0,3
<b>60</b>	5,6	0,2	5,4	5,2	5,7	5,5	5,5	0,2	5,0	5,5	5,3	5,6	5,4	0,2
<b>120</b>	5,3	0,1	5,2	5,2	5,0	5,3	5,2	0,1	5,1	5,2	5,2	5,1	5,1	0,1

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	5,6	0,0	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	0,0	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	0,0
<b>15</b>	5,2	0,1	5,0	5,1	5,1	4,9	5,0	0,1	5,1	5,2	5,1	5,2	5,1	0,1
<b>30</b>	5,1	0,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0	4,9	5,2	5,0	5,0	5,0	0,1
<b>60</b>	5,0	0,1	4,9	5,0	5,0	4,9	4,9	0,0	4,9	5,0	4,9	5,0	4,9	0,1
<b>120</b>	4,9	0,1	5,1	4,8	4,8	4,8	4,9	0,1	5,0	4,9	5,0	4,7	4,9	0,1

**ANEXO 3.** pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	4,8	0,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0
<b>15</b>	4,8	0,2	5,0	5,0	4,6	4,7	4,8	0,2	4,7	4,8	4,8	4,9	4,8	0,1
<b>30</b>	4,8	0,1	4,7	4,9	4,9	4,7	4,8	0,1	4,7	4,8	5,1	4,7	4,8	0,2
<b>60</b>	4,8	0,1	4,7	4,6	5,0	4,7	4,7	0,2	4,7	4,8	4,6	4,9	4,7	0,1
<b>120</b>	4,7	0,1	4,7	4,6	4,7	4,8	4,7	0,1	4,6	4,8	4,6	4,7	4,7	0,1

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	4,8	0,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0
<b>15</b>	4,8	0,1	4,7	4,9	4,7	4,8	4,8	0,1	4,7	4,9	4,7	4,8	4,8	0,1
<b>30</b>	4,8	0,1	4,9	4,7	4,7	4,8	4,8	0,1	4,9	4,7	4,7	4,8	4,8	0,1
<b>60</b>	4,7	0,1	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0,0
<b>120</b>	4,7	0,0	4,7	4,6	4,6	4,9	4,7	0,1	4,7	4,6	4,6	4,9	4,7	0,1

**ANEXO 4.** Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	1,09	0,01	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	0,00	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	0,00
<b>15</b>	0,68	0,09	1,16	0,31	0,91	0,96	0,84	0,37	1,02	1,01	1,02	1,03	1,02	0,01
<b>30</b>	0,59	0,42	0,94	0,99	0,80	0,53	0,81	0,21	0,97	0,94	1,10	0,95	0,99	0,08
<b>60</b>	0,65	0,03	0,97	0,94	1,10	0,79	0,95	0,13	1,14	0,96	1,08	0,68	0,97	0,20
<b>120</b>	1,05	0,07	1,22	1,45	1,39	1,14	1,30	0,14	1,18	1,46	1,03	1,02	1,17	0,20

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	0,29	0,01	0,30	0,29	0,28	0,29	0,29	0,01	0,30	0,29	0,28	0,29	0,29	0,01
<b>15</b>	0,33	0,04	0,35	0,36	0,30	0,34	0,34	0,02	0,31	0,32	0,36	0,37	0,34	0,03
<b>30</b>	0,40	0,08	0,33	0,47	0,45	0,43	0,42	0,06	0,41	0,42	0,41	0,37	0,40	0,02
<b>60</b>	0,42	0,05	0,54	0,52	0,58	0,53	0,54	0,03	0,63	0,53	0,54	0,43	0,53	0,08
<b>120</b>	0,42	0,04	0,60	0,56	0,54	0,57	0,57	0,03	0,66	0,71	0,72	0,75	0,71	0,04

**ANEXO 5.** Saturación de Aluminio (g/100g) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	14,8	0,2	14,6	15,1	14,6	14,8	14,8	0,2	14,6	15,1	14,6	14,8	14,8	0,2
<b>15</b>	9,5	1,0	10,5	10,3	11,9	9,4	10,5	1,0	10,3	11,4	12,2	13,9	12,0	1,5
<b>30</b>	7,9	0,6	7,3	9,9	7,1	11,7	9,0	2,2	13,7	12,9	10,0	10,7	11,9	1,8
<b>60</b>	7,9	0,6	10,6	9,9	9,1	10,9	10,2	0,8	14,6	11,3	11,0	13,5	12,6	1,8
<b>120</b>	12,1	1,7	14,5	14,6	14,5	15,8	14,9	0,7	12,7	14,9	14,5	12,0	13,6	1,4

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	8,9	0,3	9,20	9,10	8,53	8,94	8,9	0,3	9,20	9,10	8,53	8,94	8,9	0,3
<b>15</b>	7,8	2,8	8,50	7,51	9,34	6,81	8,0	0,6	7,25	8,06	6,61	7,31	7,3	0,6
<b>30</b>	6,8	1,2	7,51	6,81	8,50	9,34	8,0	2,6	6,23	6,83	6,02	7,83	6,7	0,8
<b>60</b>	6,1	0,3	7,51	8,50	6,81	9,34	8,0	0,8	6,73	4,64	6,54	9,87	6,9	2,2
<b>120</b>	5,5	0,6	7,74	7,84	7,56	7,99	7,8	0,2	8,64	8,43	7,02	8,85	8,2	0,8

**ANEXO 6.** Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	5,38	0,09	5,37	5,27	5,50	5,38	5,38	0,09	5,37	5,27	5,50	5,38	5,38	0,09
<b>15</b>	5,72	0,31	5,30	6,10	5,70	5,90	5,75	0,34	5,84	5,82	5,82	5,81	5,82	0,01
<b>30</b>	5,84	0,08	5,80	5,85	6,22	5,70	5,89	0,23	5,80	5,80	5,90	6,33	5,96	0,25
<b>60</b>	6,13	0,21	5,94	6,57	6,40	5,88	6,20	0,34	6,40	6,70	5,80	6,14	6,26	0,38
<b>120</b>	6,55	0,33	7,10	6,70	6,60	6,68	6,77	0,22	6,41	5,80	6,21	9,50	6,98	1,70

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental						Formulación A				Formulación B			
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	1,92	0,01	1,91	1,93	1,91	1,92	1,92	0,01	1,91	1,93	1,91	1,92	1,92	0,01
<b>15</b>	1,89	0,09	1,89	1,92	1,92	1,97	1,93	0,03	2,23	2,27	1,54	2,46	2,13	0,40
<b>30</b>	1,95	0,49	2,05	1,73	2,23	2,04	2,01	0,21	2,12	2,32	2,28	2,29	2,25	0,09
<b>60</b>	2,11	0,32	2,01	2,18	2,17	2,30	2,16	0,12	2,29	2,20	2,41	2,62	2,38	0,19
<b>120</b>	2,50	0,20	2,17	2,19	2,21	2,52	2,27	0,17	2,53	2,05	2,55	3,09	2,55	0,43

**ANEXO 7.** Boro extractable (mg B/kg) en el suelo, luego de aplicar dosis de 100 y 500 mg S/kg de los fertilizantes S elemental, Formulación A y Formulación B, más un control sin aplicación. Series Perquenco Valdivia. Estudio de incubación.

**Serie Perquenco:**

Tiempo	S elemental				Formulación A				Formulación B					
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	2,47	0,35												
<b>120</b>	0,27	0,03	0,25	0,24	0,26	0,23	0,25	0,01	0,20	0,20	0,22	0,28	0,22	0,04

**Serie Valdivia:**

Tiempo	S elemental				Formulación A				Formulación B					
	Control		100		500		100		500		100		500	
	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.	prom	d.e.
<b>0</b>	2,47	0,35												
<b>120</b>	0,27	0,03	0,25	0,02	0,31	0,30	0,32	0,33	0,31	0,01	0,74	0,73	0,80	0,76

**ANEXO 8.** S-sulfato disponible (mg S/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>			<b>Formulación A</b>									
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>Prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00
<b>17</b>	7,04	0,87	7,38	0,06	8,77	0,50	7,12	0,37	7,45	0,93	6,24	0,28
<b>51</b>	5,51	1,40	4,08	0,50	5,51	0,24	4,49	0,36	4,96	0,73	5,42	0,32
<b>133</b>	5,73	0,84	7,40	0,10	6,77	0,12	7,63	0,67	6,53	0,15	7,04	0,05
<b>308</b>	3,07	0,07	4,17	0,43	3,80	0,40	7,55	2,38	7,15	0,34	7,73	0,51
<b>395</b>	3,09	0,59	3,66	1,00	5,17	0,41	4,47	0,97	9,93	1,11	25,54	1,41
<b>492</b>	3,59	0,38	5,87	0,26	4,96	0,42	11,51	0,45	9,68	1,19	26,94	0,45



**ANEXO 9.** S-sulfato disponible (mg S/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>			<b>Formulación A</b>									
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00
<b>17</b>	7,04	0,87	7,38	0,06	8,77	0,50	7,12	0,37	7,45	0,93	6,24	0,28
<b>51</b>	5,33	0,38	5,96	1,23	7,25	1,65	6,67	0,23	6,56	1,51	6,25	0,83
<b>133</b>	6,00	0,70	9,11	0,99	9,44	0,58	8,07	0,61	8,47	0,50	7,27	0,45
<b>308</b>	3,51	0,19	5,50	0,47	5,69	0,23	3,23	0,04	6,68	0,87	8,71	0,97
<b>395</b>	3,14	0,34	3,70	0,36	7,06	0,67	4,12	0,28	6,28	0,26	11,75	0,39
<b>492</b>	3,15	0,30	6,88	0,34	7,32	1,14	8,35	0,49	10,72	0,17	17,85	1,86

**ANEXO 10.** pH en agua (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00
<b>17</b>	5,48	0,01	5,80	0,01	5,49	0,05	5,62	0,01	5,39	0,01	5,58	0,02
<b>51</b>	5,98	0,02	5,80	0,00	5,79	0,02	5,79	0,02	5,88	0,02	5,90	0,01
<b>133</b>	5,79	0,02	5,91	0,02	5,62	0,02	5,56	0,02	5,52	0,02	5,71	0,01
<b>308</b>	6,07	0,04	6,17	0,06	6,25	0,07	6,18	0,03	6,17	0,04	6,18	0,05
<b>395</b>	6,35	0,05	6,36	0,11	6,12	0,05	6,40	0,03	6,24	0,04	6,31	0,28
<b>492</b>	6,12	0,11	6,10	0,04	5,97	0,08	5,74	0,07	5,91	0,06	5,79	0,02

**ANEXO 11.** pH en agua (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00	5,70	0,00
<b>17</b>	5,48	0,01	5,80	0,01	5,49	0,05	5,62	0,01	5,39	0,01	5,58	0,02
<b>51</b>	5,59	0,04	5,51	0,01	5,52	0,02	5,58	0,02	5,68	0,02	5,58	0,03
<b>133</b>	5,69	0,04	5,79	0,04	5,51	0,02	5,51	0,01	5,42	0,02	5,51	0,02
<b>308</b>	5,70	0,02	5,85	0,10	5,85	0,03	5,75	0,04	5,76	0,11	5,73	0,05
<b>395</b>	6,05	0,03	6,10	0,06	5,97	0,05	6,09	0,05	6,02	0,06	6,14	0,04
<b>492</b>	5,70	0,03	5,66	0,02	5,71	0,08	5,62	0,01	5,69	0,02	5,56	0,02

**ANEXO 12.** pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00
<b>17</b>	4,95	0,07	4,98	0,03	4,79	0,03	4,82	0,02	4,74	0,03	4,83	0,00
<b>51</b>	4,99	0,03	4,90	0,01	4,83	0,04	4,88	0,03	4,88	0,02	5,00	0,01
<b>133</b>	4,81	0,02	5,19	0,02	4,81	0,02	4,71	0,02	4,80	0,01	4,91	0,02
<b>308</b>	5,28	0,02	5,41	0,03	5,47	0,01	5,50	0,04	5,43	0,06	5,44	0,02
<b>395</b>	5,10	0,03	5,24	0,01	5,21	0,09	5,21	0,02	5,24	0,07	5,42	0,09
<b>492</b>	5,38	0,05	5,37	0,04	5,24	0,02	5,08	0,01	5,18	0,02	5,10	0,02

**ANEXO 13.** pH en CaCl<sub>2</sub> (1:2,5) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00
<b>17</b>	4,95	0,07	4,98	0,03	4,79	0,03	4,82	0,02	4,74	0,03	4,83	0,00
<b>51</b>	4,69	0,01	4,71	0,01	4,70	0,01	4,70	0,02	4,79	0,02	4,73	0,04
<b>133</b>	4,70	0,00	4,89	0,01	4,71	0,01	4,61	0,02	4,70	0,01	4,71	0,02
<b>308</b>	4,92	0,03	4,94	0,02	4,95	0,01	4,85	0,01	4,85	0,00	4,83	0,01
<b>395</b>	4,80	0,02	4,91	0,00	4,80	0,02	4,75	0,04	4,66	0,01	4,75	0,01
<b>492</b>	4,88	0,02	4,90	0,03	4,92	0,05	4,79	0,03	4,90	0,03	4,80	0,01

**ANEXO 14.** Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00
<b>17</b>	0,24	0,02	0,19	0,01	0,31	0,01	0,29	0,01	0,40	0,00	0,28	0,01
<b>51</b>	0,16	0,11	0,19	0,10	0,29	0,08	0,22	0,02	0,18	0,04	0,14	0,04
<b>133</b>	0,19	0,00	0,05	0,00	0,18	0,03	0,28	0,02	0,24	0,02	0,16	0,00
<b>308</b>	0,11	0,01	0,09	0,00	0,07	0,01	0,07	0,00	0,07	0,01	0,06	0,00
<b>395</b>	0,09	0,00	0,05	0,01	0,07	0,02	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00
<b>492</b>	0,23	0,01	0,23	0,03	0,12	0,00	0,25	0,00	0,17	0,01	0,21	0,05

**ANEXO 15.** Aluminio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00
<b>17</b>	0,24	0,02	0,19	0,01	0,31	0,01	0,29	0,01	0,40	0,00	0,28	0,01
<b>51</b>	0,41	0,11	0,37	0,01	0,39	0,08	0,37	0,07	0,26	0,05	0,36	0,07
<b>133</b>	0,28	0,03	0,15	0,01	0,32	0,01	0,42	0,04	0,33	0,01	0,36	0,02
<b>308</b>	0,31	0,00	0,26	0,00	0,28	0,00	0,34	0,00	0,35	0,01	0,33	0,01
<b>395</b>	0,28	0,01	0,20	0,03	0,31	0,01	0,35	0,01	0,35	0,01	0,28	0,00
<b>492</b>	0,11	0,00	0,24	0,00	0,26	0,00	0,39	0,01	0,23	0,01	0,31	0,01

**ANEXO 16.** Saturación de Aluminio (g/100g) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00
<b>17</b>	6,47	0,71	6,75	1,23	8,22	0,31	8,75	0,62	18,36	1,03	7,78	0,75
<b>51</b>	3,87	3,59	4,49	3,12	8,35	3,09	5,14	0,53	4,35	1,28	2,46	0,34
<b>133</b>	4,48	0,03	0,70	0,06	4,41	0,80	8,50	0,29	6,31	0,46	3,18	0,06
<b>308</b>	2,56	0,14	1,16	0,03	1,66	0,36	1,99	0,07	1,78	0,14	1,20	0,04
<b>395</b>	2,10	0,01	0,72	0,11	1,67	0,39	1,92	0,13	1,55	0,06	0,58	0,03
<b>492</b>	0,60	0,02	0,62	0,08	0,87	0,03	2,09	0,02	1,26	0,09	1,89	0,48



**ANEXO 17.** Saturación de Aluminio (g/100g) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00	11,20	0,00
<b>17</b>	6,47	0,71	6,75	1,23	8,22	0,31	8,75	0,62	18,36	1,03	7,78	0,75
<b>51</b>	19,74	9,61	21,62	1,14	25,22	4,21	22,45	4,32	15,28	2,79	20,86	5,45
<b>133</b>	20,92	1,85	7,40	0,27	22,07	0,37	29,25	1,40	19,54	0,91	17,02	0,59
<b>308</b>	22,88	0,53	12,54	0,17	19,32	0,74	24,22	1,22	20,32	0,82	16,23	0,26
<b>395</b>	20,25	0,85	9,46	1,34	21,29	0,92	24,47	0,87	20,74	1,24	13,38	0,49
<b>492</b>	9,29	0,40	10,53	0,36	10,04	0,43	14,08	0,35	8,58	0,30	11,63	0,27

**ANEXO 18.** Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00
<b>17</b>	2,45	0,10	1,98	0,30	2,67	0,14	2,16	0,18	1,24	0,09	2,41	0,17
<b>51</b>	3,91	1,20	3,43	0,74	2,63	0,34	3,02	0,06	3,08	0,54	4,25	0,89
<b>133</b>	2,82	0,02	5,71	0,08	2,63	0,05	2,13	0,06	2,54	0,09	3,40	0,00
<b>308</b>	5,55	0,11	5,82	0,05	7,51	0,09	7,99	0,27	6,37	0,27	7,48	0,12
<b>395</b>	6,10	0,16	8,06	0,10	7,80	0,23	8,03	0,13	8,89	0,28	11,16	0,32
<b>492</b>	4,39	0,10	5,51	0,07	4,93	0,03	5,49	0,16	6,14	0,06	6,32	0,07

**ANEXO 19.** Calcio intercambiable (cmol+/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00
<b>17</b>	2,45	0,10	1,98	0,30	2,67	0,14	2,16	0,18	1,24	0,09	2,41	0,17
<b>51</b>	1,36	0,69	0,96	0,08	0,74	0,05	0,84	0,07	1,00	0,19	0,94	0,28
<b>133</b>	0,65	0,01	1,24	0,01	0,63	0,01	0,58	0,02	0,88	0,05	1,09	0,03
<b>308</b>	1,69	0,02	1,62	0,01	2,06	0,14	1,97	0,01	1,37	0,01	1,40	0,02
<b>395</b>	1,34	0,03	1,90	0,02	1,43	0,04	1,41	0,01	1,45	0,02	2,01	0,04
<b>492</b>	1,69	0,04	1,93	0,01	1,80	0,00	1,68	0,06	1,48	0,04	2,17	0,05

**ANEXO 20.** Boro extractable (mg B/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 0 a 10 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>0 – 10 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00
<b>17</b>	1,42	0,14	1,53	0,31	1,64	0,13	1,51	0,03	1,60	0,18	1,76	0,09
<b>51</b>	1,62	0,23	1,40	0,09	1,76	0,53	1,25	0,03	1,43	0,06	1,77	0,13
<b>133</b>	1,26	0,29	1,37	0,04	1,09	0,16	1,48	0,05	0,94	0,13	2,36	0,03
<b>308</b>	0,79	0,10	0,97	0,11	0,78	0,12	0,97	0,02	1,07	0,01	2,27	0,37
<b>395</b>	0,77	0,01	0,79	0,03	0,79	0,03	0,92	0,04	0,88	0,04	2,09	0,14
<b>492</b>	0,82	0,04	0,89	0,06	0,98	0,38	1,14	0,21	1,29	0,28	2,54	0,24

**ANEXO 21.** Boro extractable (mg B/kg) en el suelo a través del tiempo, medido a una profundidad de 10 a 20 cm., luego de la aplicación de distintas dosis de fertilizante Formulación A. Estudio de campo - Serie Valdivia.

<b>10 – 20 cm</b>		<b>Formulación A</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>Control</b>		<b>10 kg/ha</b>		<b>20 kg/ha</b>		<b>40 kg/ha</b>		<b>80 kg/ha</b>		<b>160 kg/ha</b>	
	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>	<b>prom</b>	<b>d.e.</b>
<b>0</b>	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00	1,36	0,00
<b>17</b>	1,42	0,14	1,53	0,31	1,64	0,13	1,51	0,03	1,60	0,18	1,76	0,09
<b>51</b>	1,17	0,17	0,98	0,32	1,08	0,15	0,75	0,19	0,95	0,07	1,40	0,43
<b>133</b>	0,95	0,12	0,94	0,04	1,08	0,32	0,98	0,12	0,81	0,10	1,28	0,12
<b>308</b>	1,06	0,36	1,05	0,21	1,34	0,16	1,34	0,14	1,05	0,06	1,51	0,39
<b>395</b>	0,70	0,06	0,81	0,17	0,66	0,03	1,05	0,06	1,24	0,06	2,31	0,25
<b>492</b>	0,50	0,20	0,54	0,20	0,76	0,05	1,04	0,08	1,08	0,23	2,04	0,28