

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA FERTILIZACION AZUFRE-FOSFORO SOBRE EL
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FITOMASA DE *Lolium perenne* L.,
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

FELIPE IGNACIO MILLANAO FUENTES

TEMUCO – CHILE
2011

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA FERTILIZACION AZUFRE-FOSFORO SOBRE EL
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FITOMASA DE *Lolium perenne* L.,
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

FELIPE IGNACIO MILLANAO FUENTES

PROFESOR GUIA: MARIA DE LA LUZ MORA GIL

TEMUCO – CHILE
2011

EFFECTO DE LA FERTILIZACION AZUFRE-FOSFORO SOBRE EI RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FITOMASA DE *LOLIUM PERENNE L.* BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

PROFESOR GUIA : MARÍA DE LA LUZ MORA GIL
Químico. Dra.
Instituto de Agroindustria
Depto. de Ciencias Químicas y Recursos
Naturales.
Universidad de La Frontera

PROFESOR CONSEJERO : ROLANDO EMILIO DEMANET FILIPPI
Ingeniero Agrónomo
Instituto de Agroindustria
Depto. Producción Agropecuaria
Universidad de La Frontera

CALIFICACION PROMEDIO TESIS :

INDICE

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	El azufre	3
2.2.	El azufre en los suelos	3
2.2.1.	Origen del azufre en el suelo.	4
2.2.2	Contenido de azufres en los suelos	4
2.2.3	Formas de azufre en los suelos	4
2.2.3.1	Formas inorgánicas	4
2.2.3.2	Formas Orgánicas	5
2.2.4	Adsorción del azufre	5
2.4	Mineralización de azufre	6
2.4.1.	Factores que afectan la mineralización	7
2.5	Importancia biológica del azufre	8
2.5.1	El azufre en las plantas	8
2.5.2	Absorción y asimilación de azufre por parte de las plantas.	9
2.5.3	Requerimientos de azufre en los cultivos	10
2.6	Deficiencia de Azufre en los suelos	11
2.7	Deficiencia de Azufre en la planta	12
2.8	Fertilizantes azufrados	13
2.8.1	Respuesta de los cultivos a la fertilización azufrada	13
2.8.2	Pérdida de azufre en el suelo	14
2.9	El fósforo	15
2.10	Fósforo en el suelo	15
2.10.1	Formas de fósforo en el suelo.	17

Capítulo		Página
2.10.2	Fósforo Inorgánico.	18
2.10.3	Fósforo Orgánico	18
2.10.4	Solubilización del fósforo	19
2.11	Factores que afectan la disponibilidad de Fósforo	19
2.11.1	Factores del suelo.	19
2.11.2	Factores de la planta	20
2.11.3	Factores ambientales que modifican la disponibilidad de Fósforo.	20
2.11.3.1	Acidez del suelo y P disponible.	20
2.11.3.2	. Materia orgánica y P-disponible. absorción de fósforo	21
2.11.3.3.	Relación humedad del suelo y P-disponible	21
2.11.3.4	. Fertilizantes fosfatados y el nivel de P-disponible	22
2.12	Rol del fósforo en la planta	23
2.12.1	Absorción de fósforo.	23
2.12.2	Contenido de fósforo en la planta	24
2.13	Requerimiento de fósforo en los cultivos	24
2.14	Adsorción de fósforo	24
2.15	Fósforo en suelos de cenizas volcánicas del sur de Chile	25
2.16	Capacidad Tampón del fósforo	26
2.17	Fertilización de corrección y mantención	27
2.18	Perdidas del fósforo del suelo.	28
3	MATERIALES Y METODOS	29
3.5	3.1 Suelos utilizados	29
3.2	Cultivar utilizado en el ensayo	32
3.3	Fertilización	32
3.3.1	Fertilización Base	32

Capítulo		Página
3.3.2	Fertilización con azufre y fósforo	32
3.4	Siembra	33
3.5	Cuidados culturales	33
3.5.1	Raleo:	33
3.5.2	Riego:	33
3.5.3	Control de maleza	34
3.6	Diseño experimental y tratamientos	34
3.7	Evaluaciones	35
3.7.1	Rendimiento de materia seca por maceta	35
3.7.2	Análisis Químico	35
3.7.3	Recolección de solución de suelo	36
3.8	Análisis Estadístico	36
4	DISCUSION Y RESULTADOS	37
4.1	Análisis de la producción de fitomasa acumulada.	37
4.2	Contenido de azufre foliar	46
4.3	Contenido de fósforo foliar	48
4.4	Contenido azufre en la raíz	51
4.5	Contenido fósforo en la raíz	54
4.6	Fitomasa de la raíz	57
4.7	Fósforo disponible en el suelo	61
4.8	Azufre disponible en el suelo contenido en la solución rizosferica	63
4.8.1	Azufre contenido en la solución rizosferica	65
4.8.2	pH de la solución rizosferica	67
4.9	pH del suelo	69
5	CONCLUSIONES	71
6	RESUMEN	72
7	SUMMARY	73
8	LITERATURA CITADA	74
9	ANEXOS	81

1. INTRODUCCION

La producción de forraje demanda altos niveles de nutrientes del suelo, debido a esto se ha experimentado una progresiva deficiencia de azufre, en diversos tipos de suelo de la zona sur. Con respecto al fósforo sigue siendo aún el nutriente más deficitario para una adecuada productividad de los cultivos y de las praderas (Pinochet, 1991; Campillo, 1992).

El fósforo y el azufre son dos de los elementos esenciales en la nutrición de las plantas, ya que participan en actividades fisiológicas tan esenciales como son la síntesis de proteínas, fotosíntesis entre otros. Las plantas necesitan una adecuada fertilización de estos elementos, para generar mayores potenciales productivos.

El azufre a pesar de tener una importancia vital en los procesos fisiológicos de las plantas, con requerimientos nutricionales parecidas a las del fósforo. (Tisdale, 1990). Se estima que ha sido un nutriente olvidado. Debido a esto se han detectado cada vez con muchas más frecuencias deficiencias en la fertilización azufrada, ya que se privilegia otros nutrientes.

En esta condición, tras varios años con agricultura continua, sin la debida fertilización azufrada, es natural esperar deficiencias de azufre en los suelos (Stevenson, 1986). Posiblemente la permanente mineralización de los ácidos fálcos en la materia orgánica y la absorción de los sulfatos por las cosechas constituyan el principal factor de degradación del mismo en el suelo. (McLaren y Swift, 1977).

Las deficiencias de azufre y fósforo afectan la cantidad como lo calidad de la pradera, lo cual reduce la eficiencia de las praderas dedicadas a pastoreo.

Numerosos autores, han permitido demostrar que existe una respuesta positiva en la interacción de azufre-fósforo, al momento de evaluar parámetros productivos. (Oyarzun, 2001).

Debido a esto se planteo la siguiente hipótesis: La fertilización azufre-fósforo en dos Andisoles de diferente área geográfica permite aumentar el rendimiento y vigor de las plantas de ballicas (*Lolium perenne* L.)

El Objetivo general

Determinar el efecto que tiene la fertilización azufrada y fosfatada en dos Andisoles sobre el rendimiento y calidad de la fitomasa de *Lolium perenne* L., bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos:

1. Determinar la mejor relación entre azufre-fósforo que genere mayor producción de fitomasa en *Lolium perenne* L. cultivar Nui, en 2 Andisoles.
2. Determinar la mejor relación entre el rendimiento y los niveles foliares y radiculares de azufre y fósforo en *Lolium perenne* L. cultivar Nui, en 2 Andisoles.
3. Determinar cuantitativamente propiedades químicas diferentes de los suelos, tales como contenido de materia orgánica, contenidos totales de azufre y fósforo, pH.
4. Determinar el efecto que tiene la fertilización azufrada y fosfatada sobre los cambios de pH.
5. Cuantificar el contenido de azufre y pH en la solución de suelo.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El Azufre

El azufre (S) es un elemento químico de número atómico 16 y símbolo químico S (del latín *Sulphur*). Perteneciente al grupo no metálicos. Es el décimo elemento más abundante en el universo (Stevenson, 1986, Stevenson y Cole, 1999). Existe tanto en forma natural como yeso, arcillas bituminosas y roca sedimentaria, como también en suelo y humus marino. El azufre es un elemento esencial para el desarrollo y mantención de las plantas (Nguyen y Goh, 1992).

2.2. El azufre en los suelos

El azufre presente en los suelos es muy variables de un suelo a otro y las condiciones encontradas van desde deficiencia hasta exceso. Como regla general, un suelo con menos de 14 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ppm) de SO_4^{-2} soluble se considera un suelo deficiente en azufre disponible para las plantas (Wainwright, 1984; Rennenberg, 1984).

El azufre en forma inorgánica es generalmente mucho menos abundante que el azufre en forma orgánica en la mayor parte de los suelos agrícolas, a excepción de los suelos secos, en donde puede ocurrir lo contrario (Wainwright, 1984). El S disponible en el suelo para las plantas en más del 90 % deriva de la mineralización de la materia orgánica (Tisdale *et al.*, 1986).

2.2.1. Origen del azufre en el suelo. La principal fuente original de S en los suelos es la pirita (FeS_2) de las rocas ígneas. Durante la meteorización, el S de la pirita se oxida a la forma de sulfato (SO_4^{-2}), el cual finalmente es asimilado por las plantas y los microorganismos e incorporado a la materia orgánica del suelo. En algunos suelos, parte del S se retiene como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) o se lixivia. En las regiones secas, donde la pluviosidad es insuficiente para lixiviar el SO_4^{-2} del perfil de suelo, a menudo se acumula yeso en un horizonte bajo una zona de acumulación de carbonato de calcio (Stevenson, 1986).

2.2.2 Contenido de azufres en los suelos. El contenido total de S de los suelos varía en un amplio rango, desde menos de 20 mg/kg (0,002 %) en suelos altamente meteorizados y lixiviados de regiones húmedas hasta sobre 50.000 mg/kg (5 %) en suelos calcáreos y salinos de regiones áridas y semiáridas (Sadzawka, 1999). Según Sadzawka (1999) El rango normal de S total en los suelos agrícolas es de 100 a 500 mg/kg (0,01 a 0,05%), del cual sobre el 95% está en formas orgánicas, excepto en los suelos de regiones áridas donde puede acumularse yeso.

2.2.3 Formas de azufre en los suelos. Azufre en el suelo se presenta por lo general, tanto en formas orgánicas e inorgánicas (Freney, 1986).

2.2.3.1 Formas inorgánicas. El S inorgánico es generalmente menos abundante con respecto al S orgánico en la mayoría de los suelos agrícolas (Bohn *et al.*, 1986). El Sulfato es la forma más común de materias inorgánicas de S y se puede dividir en SO_4^{-2} en la solución del suelo, adsorbida SO_4^{-2} y minerales de azufre (Barber, 1995). El S inorgánico sufre una variedad de reacciones de óxido-reducción realizadas por microorganismos (Sadzawka, 1999). El S puede precipitar en forma de SO_4^{-2} como el calcio, el magnesio o sulfato de sodio. SO_4^{-2} también se produce como cristalizado o precipitado impurezas CaCO_3 y es una fracción importante del total

de S en suelos calcáreos (Tisdale *et al.*, 1993). En tierras pantanosas se acumulan grandes cantidades de metales como sulfuro de pirita (FeS_2). Después de drenar estas áreas, los compuestos de S se oxidan a SO_4^{-2} , acompañado por una disminución en el pH. El Sulfato en la solución del suelo está en equilibrio con la forma de la fase sólida (Mengel y Kirkby, 1987; Tisdale *et al.*, 1993).y el fosfato es adsorbido a arcillas minerales y sesquióxidos. (Stevenson, 1986).

2.2.3.2 Formas Orgánicas. Proviene de los residuos vegetales y animales. Consiste en su mayor parte de proteínas, aminoácidos y otros compuestos azufrados (Stevenson y Cole, 1999). Según Bloem (1998) hasta el 98% del suelo total de azufre pueden estar presentes como compuestos orgánicos S y se asocia con una mezcla heterogénea de residuos vegetales, animales y microorganismos del suelo (Freney, 1986). El perfil de la concentración de S orgánico, sigue generalmente el patrón de concentración de materia orgánica en los suelos con la profundidad (Probert, 1980). El S orgánico del suelo se divide en dos grandes grupos denominados: S unido al C y sulfato ésteres (R-O-SO₃H) (Sadzawka, 1999). El S orgánico es importante como reserva del elemento. Los sulfatos pueden lavarse, mientras que los compuestos orgánicos resisten y gradualmente pasan a sulfatos, que es la forma predominante en que lo absorben las plantas. (Stevenson y Cole ,1999)

2.2.4 Adsorción del azufre. En los suelos de regiones húmedas y semi-húmedas, una gran proporción del S puede ser retenido como sulfato adsorbido (Sadzawka, 1999). La materia orgánica también puede adsorber SO_4^{-2} ; sin embargo, la adsorción se realiza a través de los óxidos hidratados de Fe y Al, unidos al humus y no por la materia orgánica misma. Esto significa que la materia orgánica juega un doble papel en relación al S. Por una parte, su mineralización libera S al medio y, por otra, inmoviliza parte del S liberado por adsorción y por incorporación en la biomasa (Sadzawka, 1999). La adsorción de SO_4^{-2} es fuertemente dependiente del pH. La cantidad adsorbida disminuye con el aumento del pH de 4 a 7 debido a la disminución de las

cargas positivas de los coloides del suelo. Consecuentemente, cuando los suelos se encalan para aumentar el pH y precipitar el Al, liberan parte del SO_4^{-2} o retienen menos del SO_4^{-2} que se agrega. El sulfato así liberado puede ser usado por las plantas o lixiviado del suelo, dependiendo del régimen de pluviosidad (Sadzawka, 1999) Andisoles pueden adsorber grandes cantidades de fosfato y sulfato por la presencia de minerales de carga variable (alofano, imogolita, y los óxidos de Al y Fe), caracterizada por la alta área superficial y la reactividad (Mora y Canales, 1995).

2.4 Mineralización de azufre

El azufre en el suelo es un ciclo continuo entre las formas S inorgánicas y orgánicas. (Stevenson 1986). La conversión del S orgánico a formas disponibles para las plantas se realiza por procesos microbiológicos (Stevenson, 1986). Los compuestos orgánicos S no están disponibles para las plantas y deben ser convertidos por procesos bioquímicos o microbiológicos para la mineralización a azufre inorgánico SO_4^{-2} para que pueda ser absorbida por la planta (Castellano y Dick, 1991). De acuerdo con Tisdale *et al.* (1993), la mineralización de S a partir de la materia orgánica varía anualmente entre 4,4 a 14,3 kg/ha.

La mineralización de la materia orgánica del suelo puede hacer una importante contribución a la oferta de disponible para las plantas S (Jarvis *et al.*, 1996). Este proceso es afectado por las condiciones ambientales, donde participan enzimas y los microorganismos. (Scherer, 2000). Mientras que en la mineralización bioquímica es la hidrólisis de ésteres de sulfato por diferentes sulfatasas, la mineralización microbiológica de el enlace C–S depende de la actividad de los microbios del suelo, que necesita de C orgánico para cubrir su demanda energética, mediante el cual S es convertido como un subproducto de la oxidación de C a CO_2 (Eriksen *et al.*, 1998).

2.4.1. Factores que afectan la mineralización. Los microorganismos que intervienen en el proceso de oxidación del azufre son principalmente del género *Thiobacillus*, siendo *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante (Chapman, 1990; Miyamoto, 1998). Sin embargo, otros autores señalan que bacterias heterotróficas y autotróficas facultativas del suelo, pueden ser de mayor relevancia, debido a que se encuentran en mayor cantidad que el género *Thiobacillus* (Miyamoto, 1998). También, sugieren que el segundo género es importante en la oxidación del azufre sólo a pH ácido, y que las heterotróficas son las principales en suelos neutros a alcalinos (Miyamoto, 1998). Existen además de los microorganismos del suelo, factores físicos que influyen en la tasa de oxidación del azufre. Los más importantes son: humedad, temperatura, tipo de suelo y tamaño de la partícula de azufre (Dick y Deng, 1991). La temperatura que debe tener el suelo para la oxidación del azufre se encuentra en el rango de 4 a 45°C, con un rango óptimo entre los 25 y 40°C para la mayoría de ellos (Miyamoto, 1998). Se ha demostrado que con potenciales de agua cercanos a capacidad de campo, la oxidación del azufre procede más rápidamente (Miyamoto, 1998), con un menor contenido de agua, la actividad microbiana se ve limitada y se reduce la accesibilidad de las partículas de azufre, que es altamente hidrofóbico. Por el contrario, con un contenido alto de humedad, la oxidación está limitada posiblemente por una reducción de la aireación del suelo.

2.5 Importancia biológica del azufre

Gran parte del S se utiliza en la formación de aminoácidos, proteínas y aceites, en el proceso de fijación de N, en los componentes estructurales de la planta, y en la activación de ciertas vitaminas y enzimas (Droux, 2004). El S es parte constituyente de tres aminoácidos esenciales (cistina, cisteína y metionina), los cuales intervienen en la formación de varias proteínas. Por otro lado, la formación de clorofila requiere de la presencia de S, participa también en la formación de aceites y síntesis de vitaminas. Esto explica porque este elemento es tan importante para el crecimiento y rendimiento de los cultivos. (Tisdale *et al.*, 1993).

Los compuestos biológicos en donde se involucra el azufre son diversos en tipo y complejidad; van desde moléculas pequeñas a medianas, hasta proteínas y otros polímeros. Se sabe que aproximadamente un 40% de las enzimas dependen para su actividad catalítica de la presencia de grupos sulfhidrilo (SH). También se sabe que la estructura terciaria y cuaternaria de muchas proteínas es resultado de la presencia de puentes disulfuro (-S-S-) formados por la oxidación de grupos SH de la cisteína, un aminoácido azufrado que, junto con la metionina, es factor clave en determinar el valor nutricional de las plantas (Huxtable, 1986) así como elemento central en el metabolismo del azufre en todos los organismos (Scott y Eagleson, 1988).

2.5.1 El azufre en las plantas. El azufre (S) es un elemento esencial para el desarrollo y mantención de las plantas (Nguyen y Goh, 1992). Las plantas contienen alrededor de la misma cantidad de S que de P, generalmente entre 0,2 a 0,5 % en base a la materia seca (Sadzawka, 1999). El S tiene numerosas funciones en la planta, muchas de las cuales están relacionadas con las transformaciones catalizadas por enzimas. La ferredoxina es el primer compuesto redox estable de la cadena fotosintética. El enlace disulfuro (-S-S-) sirve como unión entre las cadenas

polipeptídicas en una molécula de proteína. El grupo sulfidral (-S-H) proporciona sitios para la unión de cationes metálicos y une los grupos prostéticos a las enzimas. El grupo metilo de la metionina participa en la biosíntesis de lignina, pectina, clorofila y flavonoides (Sadzawka, 1999).

2.5.2 Absorción y asimilación de azufre por parte de las plantas. Las plantas absorben el S principalmente en la forma de sulfato, a pesar de que en el suelo no más del 10% del S se encuentra en esta forma, estando mayoritariamente en forma orgánica (Watkinson y Kear, 1996). Si no se toma en cuenta la absorción de dióxido de azufre (SO₂) de la atmósfera, actividad que puede representar un aporte importante de azufre para muchas plantas (Wainwright, 1984; Rennenberg, 1984), la mayor parte del, azufre tomado por las plantas del suelo es absorbido en forma de SO₄⁻² e incorporado al aminoácido cisteína en los tejidos fotosintéticos. La reducción asimilativa del azufre del sulfato es un proceso dependiente de la luz llevado a cabo en los cloroplastos (Rennenberg *et al.*, 1982). El S absorbido es rápidamente incorporado a la molécula de cisteína, que con posterioridad puede ser transferida hasta formar metionina. Estos dos aminoácidos son la principal fuente de S en las plantas, de manera tal que su deficiencia produce la inhibición de la síntesis proteica, por lo que la deficiencia de S reduce el rendimiento y la calidad de los cultivos (Mengel y Kirkby, 1987).

En las plantas se ha encontrado una estrecha relación entre el estado nutricional del nitrógeno y el del azufre (Rendig *et al.*, 1976; Reuveny *et al.*, 1980), y esto no es sorprendente si se considera que aproximadamente el 80% del nitrógeno y azufre incorporados en compuestos orgánicos de las plantas lo hacen en las proteínas cuando ambos elementos se encuentran en proporciones adecuadas. Al respecto Rennerberg (1984) menciona: La absorción de sulfato por las raíces es en su mayor parte, un proceso metabólico mediado por proteínas acarreadoras las cuales son sujetas a un control negativo de su actividad por medio del monitoreo de la concentración intracelular de

sulfato y de los productos del metabolismo del azufre. Sin embargo, tal parece que dichos mecanismos regulatorios son incapaces de evitar la presencia de SO_4^{-2} intracelular en exceso (Rennenberg, 1984). Como resultado de esto las plantas presentan mecanismos alternos de regulación como el descrito en el modelo de Rennenberg *et al.* (1982) en forma de un ciclo intracelular del azufre, el cual según los autores, tendría como función la regulación de la cantidad de cisteína libre en las células.

La absorción de S y fósforo también se encuentra íntimamente relacionada, de manera tal que la deficiencia de uno de estos elementos limita el aporte del suelo y la absorción del otro (Mora *et al.*, 2002).

2.5.3 Requerimientos de azufre en los cultivos. La necesidad total de S se diferencia principalmente entre las especies de cultivo y la etapa de desarrollo de las plantas (Scherer, 2001). En general, la demanda de S de crucíferas y Liliaceae es la más alta y la más baja son los cereales, mientras que la de las leguminosas se encuentra el medio (Tabatabai, 1986). Según Sadzawka (1999) las crucíferas requieren considerablemente más S que la mayoría de los cultivos, debido a su tendencia a sintetizar altas cantidades de mercaptanos y glucósidos. De acuerdo con Walker y Booth (1992), un cultivo de semillas oleaginosas requiere entre 20 y 30 kg S m^{-2} , mientras que los cereales requieren entre 10 y 15 kg S m^{-2} . Para los cultivos comunes, la cantidad total de S absorbido por la planta es de 10 a 40 kg/ha. (Tabatabai, 1986). También existen plantas tales como colza o mostaza, requieren más de 50 kg de S por hectárea y por año, y cultivos que producen una alta cantidad de materia orgánica, tales como la caña de azúcar, también pueden también requerir cantidades sustanciales de S (Mengel y Kirby 2001). Sin embargo, se debe considerar, por una parte, que el S se encuentra principalmente en forma orgánica no disponible directamente para las plantas y, por otra parte, que una fracción de S de las plantas se recicla cuando los residuos se incorporan al suelo después de la cosecha (Sadzawka, 1999).

Cuadro 1: Requerimiento de azufre de algunos cultivos

Cultivos	Requerimientos kg/t de grano o materia seca	Rendimientos (kg/ha)	Absorción de S(kg/ha)
Alfalfa	2,7	10	27
Colza	10,3	3	31
Girasol	5,0	3	15
Maíz	4,0	10	40
Soja	7,0	4	28
Sorjo	3,7	10	37
Trigo	4,5	5	23

Fuente: Adaptado de INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N° 4, Dic. 1999

2.6 Deficiencia de Azufre en los suelos

A pesar del azufre (S) es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas con el requisito de cultivo similar al fósforo (Stevenson, 1986). Este elemento ha recibido poca atención durante muchos años, debido a que los fertilizantes y los aportes atmosféricos son suministrados en cantidades adecuadas en los suelos. Ahora, las áreas de deficiencia de S se está generalizando en todo el mundo debido a la utilización de bajos fertilizantes azufrados, baja rentabilidad S con estiércol de granja, variedades de alto rendimiento y la agricultura intensiva, disminución en el

uso de fungicidas que contienen S, y una reducción de aportes atmosféricos por las normas de emisión más estrictos (Scherer, 2001, Aguilera *et al.*, 2002)

En muchas áreas del mundo, como en Chile se han reconocido deficiencia de azufre, principalmente en las zonas centro-sur y sur del país (Sadzawka 1999; Opazo, 1982). Según Stevenson (1986), luego de varios años con agricultura continua, sin la debida fertilización azufrada, es natural esperar deficiencias de S en los suelos. En la mayoría de los suelos, la reserva de SO_4^{-2} es inadecuada para el óptimo rendimiento y se desarrollarán deficiencias de S en un corto tiempo si no ocurren adiciones por la lluvia o a través de la descomposición de la materia orgánica (Stevenson, 1986). El efecto peligroso de las emisiones de azufre en el medio ambiente ha dado lugar a políticas restrictivas de S que contienen pesticidas o fertilizantes y las emisiones de SO_2 (Aguilera *et al.*, 2002). En praderas, la deficiencia de S se relaciona con la ausencia de trébol blanco (*Trifolium repens* L.), con menores contenidos proteicos (Williams y Haynes, 1990) y menores rendimientos (Mora *et al.*, 2002).

2.7 Deficiencia de Azufre en la planta

Un insuficiente suministro de S puede influir en el rendimiento y la calidad de la cosecha, causados por el requisito de S para la síntesis de proteínas y enzimas, ya que es un constituyente de la metionina, aminoácidos y cisteína. Para superar los problemas asociados con la deficiencia de S un número de abonos que contienen S, así como otros contenidos de S en los productos procedentes de procesos industriales están disponibles (Scherer, 2001). A veces, en terreno la insuficiencia de este elemento es difícil de distinguir y la falta de él en las plantas resulta en una inhibición en la síntesis de proteínas, merma en la formación de cloroplastos, reducción del crecimiento, plantas rígidas y quebradizas con tallos delgados (Mengel y Kirkby, 1982). Según

Sadzawka (1999) señala que las plantas que sufren falta de S muestran síntomas de deficiencia característicos de la actividad fotosintética reducida. Se retarda el crecimiento y a menudo se detiene la madurez. En la mayoría de las plantas, las hojas jóvenes son de color verde claro, lo cual a veces se confunde con los síntomas similares de la deficiencia de N. Las deficiencias de S son comunes en las leguminosas, tanto las de grano como las de forraje.

2.8 Fertilizantes azufrados

El S se encuentra disponible como fertilizante en su forma elemental, de entrega lenta en el tiempo y cuya transformación a sulfato puede generar bajas en el pH del suelo. También el S existe disponible como sulfato (de calcio, magnesio, de calcio y magnesio), de disponibilidad rápida para el cultivo, pero que podría perderse desde el suelo por lixiviación (Janzen y Bettany, 1986). Se ha demostrado que la fertilización con S aumenta el rendimiento en muchos cultivos, por ejemplo, oleaginosas (McGrath y Zhao, 1995), trigo (Zhao *et al.*, 1999) y en los pastizales (Murphy *et al.*, 2002). Sin embargo, ha sido poco publicado sobre las interacciones competitivas entre las especies en respuesta al suministro de S, dado que las especies tienen diferentes requerimientos de nutrientes (Rodríguez, 1993).

2.8.1 Respuesta de los cultivos a la fertilización azufrada. Alfaro *et al.* (2006), trabajando con dosis de azufre en trigo y pradera concluyeron que la utilización de S en cobertera en praderas naturalizadas, fue una buena alternativa para incrementar la disponibilidad de este elemento en el suelo. Otra conclusión señala que en el Andisol estudiado, la aplicación de S en cobertera se tradujo en incrementos de la concentración foliar de S, pero no resultó en cambios significativos de la calidad del forraje. Y por último no se observó un incremento del rendimiento de la pradera por adición de S, independientemente de la fuente utilizada.

Alfaro *et al.* (2006) Estudios realizados en trigo y pradera naturalizada sugieren que la fuente de S utilizada es importante sólo en los primeros estados de crecimiento. En general, la falta de respuesta a la aplicación de S en trigo podría estar relacionada con la fertilidad natural del suelo, con la inmovilización del S aplicado en la fracción orgánica del suelo y su lixiviación de S-sulfato a estratas superficiales del suelo (Nguyen y Goh, 1992).

La fertilización azufrada mejora la calidad nutritiva de las praderas, tanto de gramíneas como de leguminosas, y la calidad de diferentes cultivos, en especial de oleaginosas. Asimismo, incrementa la eficiencia de utilización del nitrógeno, ya que favorece su absorción por parte de las plantas (Alfaro, 1999).

Según Alfaro *et al.* (2006), la calidad nutricional de la pradera coinciden con la observación de una mayor presencia de leguminosas en las parcelas tratadas con S, fenómeno que ha sido descrito antes para sectores fertilizados con este elemento, debido a que las leguminosas son deficientes en la competencia por la utilización de este nutriente (Williams y Haynes, 1990)

2.8.2 Pérdida de azufre en el suelo. Según Sadzawka (1999) El sulfato se lixivía fácilmente. Así, en suelos altamente lixiviados, las formas inorgánicas de S se han eliminado y solamente permanecen las formas orgánicas. El grado de pérdida de SO_4^{-2} del suelo depende de la pluviometría, capacidad de retención de SO_4^{-2} del suelo, características de drenaje, e inmovilización por microorganismo durante la degradación de residuos vegetales-. (Stevenson, 1986)

El SO_4^{-2} es móvil en el suelo y puede perderse fácilmente por lixiviación, por inmovilización o por adsorción (Sadzawka, 1999).

En los suelos del sur de Chile, el S es un elemento frecuentemente deficitario debido a que ya no se utilizan fertilizantes portadores de azufre, se utilizan forrajeras y cultivos de mayor potencial de rendimiento y se utilizan mayores dosis de nitrógeno en la fertilización (Alfaro, 2006).

2.9 El fósforo

El fósforo (P), tal como el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y azufre, es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas (Mengel y Kirkby, 1987). Su concentración fluctúa entre 0,1 y 0,4%, rango considerado menor a los valores típicamente encontrados para nitrógeno y potasio (Tisdale, 1993). Es considerado un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que está relacionado con funciones metabólicas y éstas no pueden completar su ciclo de vida sin este elemento (Tisdale *et al.*, 1993). El fósforo tiene una importancia fundamental por formar parte de la fitina, los fosfolípidos, ácidos nucleicos y enzimas. Es necesario para la glicólisis, respiración celular y síntesis de enzimas, fotosíntesis, el metabolismo de proteínas, además participa en la activación de la materia orgánica y tiene acción iónica general (Leiva, 2000). Es importante en la formación de estructuras tales como las membranas celulares (Tisdale *et al.*, 1993) y constituye el principal agente de transferencia de energía en el metabolismo de las plantas (Lynch y Brown, 2001).

Se distribuye principalmente en las partes jóvenes y reproductivas, donde sus máximos requerimientos son en etapas juveniles, para el desarrollo radicular y en la posterior etapa generativa. Las deficiencias de este elemento provocan para las plantas desarrollo radicular restringido, floración y maduración atrasada, baja resistencia a las heladas y rigidez de tejido foliar.

2.10 Fósforo en el suelo

El P en el suelo puede ser supuesto funcionalmente como compuesto de tres fracciones (Barrow, 1980), la fracción en solución, la cual es inmediatamente disponible para la absorción de una planta y resultante del equilibrio entre los distintos componentes y mecanismos que dominan la fracción lábil. La fracción lábil, la que representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo y la fracción no lábil que representa todos aquellos compuestos fosforados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la temporada del cultivo. Tres mecanismos de reacción del P en el suelo dominarían los componentes de las fracciones lábiles y no-lábiles: (a) el mecanismo de adsorción - desorción a través de las reacciones del fosfato con las arcillas del suelo, (b) el mecanismo de precipitación disolución en la formación de compuestos fosforados en el suelo, dependiente del pH del suelo y de la concentración de iones en la solución del suelo, y (c) el mecanismo de mineralización - inmovilización del P ligado a la materia orgánica del suelo (Wild, 1988; Tisdale *et al.*, 1993). De esta forma, las fracciones lábiles y no-lábiles estarían constituidas por P que ha reaccionado en el suelo a través de estos mecanismos y que constituyen los componentes de P adsorbido, P precipitado y P orgánico, tanto en fracciones lábiles como no lábiles. Además, se supone que el contenido de P en la solución resulta de un equilibrio rápido entre la cantidad de P presente en la fracción lábil y los mecanismos que determinan la labilidad del P. Es decir, para que exista una cierta cantidad de P en solución es necesaria una cierta cantidad de P en la fracción lábil, que variaría de acuerdo al grado de intensidad en que los mecanismos de reacción actúan en un determinado suelo. También es hipotizado que a través de los mecanismos de reacción un equilibrio o condición de cuasi - equilibrio lento existe entre la fracción lábil y la fracción no lábil de los componentes P del suelo (Barrow, 1980), de tal forma que un crecimiento en las componentes lábiles induce a un crecimiento en los componentes no lábiles del suelo y que un decrecimiento en la fracción de P lábil induce un lento decrecimiento en la fracción de P no lábil del suelo (Barrow, 1983).

Debido a que las mediciones de P en solución son engorrosas dado que la cantidad de P en esta fracción es usualmente muy pequeña (0.05 a 0.5 ppm) y que no indican ni el factor cantidad ni la capacidad buffer de P del suelo, usualmente en términos agronómicos se han usado los estimadores de disponibilidad. A partir de 1980, estos indicadores se empezaron a utilizar también para estimar la residualidad de las aplicaciones de fertilizantes fosfatados, dado que éstos detectaban un incremento de la fertilidad fosforada de los suelos después de aplicaciones sucesivas de fertilizantes (Cox *et al.*, 1981; Jones *et al.*, 1983). Para este fin, se han ido utilizando cada vez más aquéllos que se adaptan a un amplio rango de suelos, de forma de obtener una explicación más técnica de los procesos que gobierna la residualidad del P en el suelo.

Cuadro 2: Niveles de suficiencia de fósforo disponible (mg/kg) en los suelos.

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto
< 2.5	5 - 10	11 - 15	> 15

Rodríguez, J. 1992.

2.10.1 Formas de fósforo en el suelo. El fósforo se encuentra en los suelos casi exclusivamente como ortofosfato, que es la forma natural estable. Las plantas absorben la mayor parte del fósforo que necesitan como ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y cantidades menores del ión ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}) (Sadzawka y Carrasco, 1985). Las formas minerales del P son la apatita, que puede estar en un carbonato, un hidróxido, un fluoruro, o una forma de cloruro, como fosfatos de hierro o de aluminio (Tiessen *et al.*, 1984).

Según Campillo y Sadzawka (2006), aunque se reconoce que el fósforo es retenido a la forma de aniones intercambiables por las arcillas, se cree que estas formas no son importantes para la nutrición directa de las plantas. En otras palabras, las plantas obtienen directamente los aniones

fosfatos de la solución suelo más bien que aquellos adsorbidos por los coloides. En realidad, la cantidad de fosfato en la solución del suelo no es tan importante como la tasa en que este fosfato se disuelve o pasa a la solución. Las plantas pueden crecer en forma satisfactoria con una pequeña concentración de fosfato en la solución a medida que esta concentración se puede mantener. Deben producirse condiciones que favorezcan la rápida liberación de fosfatos desde las formas orgánicas y/o de las formas inorgánicas de modo de mantener un adecuado suministro de formas disponibles.

Campillo y Sadzawka (2006), señala que la pérdida del fósforo soluble de la solución suelo es un proceso continuo, por las raíces de las plantas, por los microorganismos y por mecanismos de adsorción y/o precipitación en la superficie de los coloides, quedando como fósforo insoluble. Desde el punto de vista nutricional, el fósforo del suelo se encuentra en solución, en forma lábil y e forma no lábil (Perrot y Mansell, 1989)

Según Campillo y Sadzawka (2006), las formas de fósforo orgánico denominadas lábiles son aquéllas que se pasan a la solución suelo a través de la mineralización del fósforo orgánico; las formas más refractadas a la mineralización son las provenientes del humus y sólo se relacionan en el equilibrio con el fósforo orgánico lábil.

2.10.2 Fósforo Inorgánico. Las formas de P inorgánico incluyen dos grupos; aquellos que contienen Hierro y Aluminio y los que contienen Calcio. Los primeros predominan en suelos ácidos, ya que el P soluble precipita como fosfato de aluminio (variscita) y fosfato de hierro (estregita), en contraste de los compuestos cálcicos que son más solubles y tienden a desaparecer en suelos ácidos pero no en suelos alcalinos (Tisdale *et al.*, 1993).

2.10.3 Fósforo Orgánico La mayoría de los componentes de P orgánico son ésteres de ácido ortofosfórico y han sido identificados como inositol fosfato, fosfolípidos y ácidos nucleicos (Tisdale *et al.*, 1993).

2.10.4 Solubilización del fósforo

En relación a los mecanismos involucrados en la solubilización de fósforo, el más importante estaría dado por la excreción de ácidos orgánicos que ejercerían su acción por disminución de pH (Whitehead, 2000) o por la quelación de los cationes de calcio, fierro o aluminio a los que está unido el fósforo y la consiguiente transformación a formas solubles en agua. (Kpombekou y Tabatabai, 1994)

2.11 Factores que afectan la disponibilidad de Fósforo

La disponibilidad de P en los suelos está regulada por procesos geoquímicos y biológicos. En la mayoría de los ecosistemas naturales, los procesos geoquímicos determinan su distribución en el largo plazo, pero, en el corto tiempo, influyen preferentemente los procesos biológicos, ya que el P asimilable por la planta deriva de la materia orgánica (Cross y Schelesinger, 1995).

La disponibilidad de P depende de los factores del suelo, los factores de la planta y las condiciones medioambientales (Campillo y Sadzawka, 2006)

2.11.1 Factores del suelo. Según Campillo y Sadzawka (2006) El contenido de fósforo disponible en el suelo es una variable dinámica, fuertemente influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales.

Cualquier cambio en las propiedades del suelo se encuentra relacionada con la concentración de fósforo en solución (intensidad); la magnitud del fósforo de la fase sólida del suelo susceptible de pasar a la solución o fósforo lábil (cantidad),- la capacidad del suelo de restablecer el fósforo de la solución (capacidad o poder tampón del fósforos) y las características del suelo que permiten el paso de iones fosfato desde las zonas de alta concentración a la superficie de las raíces (difusión).

2.11.2 Factores de la planta. Según Campillo y Sadzawka (2006), todas las especies exhiben características sistemas radicales, atendiendo a la longitud y densidad de los pelos radicales, así como a la morfología de su sistema radicular, lo que afecta sensiblemente la capacidad de extracción de fósforo por las raíces de las plantas. Al respecto, se puede afirmar que menos de Un 1 % del volumen total del suelo está ocupado por las raíces.

Campillo y Sadzawka (2006), señala, otra de las características de la planta que afectan la capacidad de remoción del P disponible, se refiere a la capacidad individual de las especies de absorber fósforo por cm² de raíz o poder de absorción de fósforo. Además, ciertas condiciones ambientales afectan la capacidad específica de absorción de fósforo por las raíces, tales como la infección por micorrizas activas, uso de altas densidades de siembra.

Debido a que la disponibilidad de fósforo es normalmente más elevada en los horizontes superficiales y decrece notoriamente en profundidad, se hipotetizó que sistemas radicales con una concentración de raíces en la superficie del suelo serían más eficientes en la adquisición de fósforo (Lynch y Brown, 2001; Rubio *et al.*, 2001)

2.11.3. Factores ambientales que modifican la disponibilidad de Fósforo. Aunque son numerosos los factores ambientales que modifican la disponibilidad del fósforo, los más relevantes son los siguientes:

2.11.3.1 Acidez del suelo y P disponible. El rango de absorción de fosfatos por las plantas depende del pH que presente el suelo (Mengel y Kirkby, 1982).

El óptimo rango de pH del suelo dentro del cual se observa la máxima disponibilidad de fósforo se encuentra entre 6,5 y 7,5. Las causas de este comportamiento se asocian fundamentalmente a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas de fósforo inorgánico del suelo. Así, en rangos de pH ácido hasta 6,5, se reduce la solubilidad de fosfatos de hierro y aluminio y aumenta la solubilidad de las formas ligadas al calcio. Pasado cierto nivel de pH alcalino (sobre 7,5) comienzan a precipitar ciertas formas de fosfatos de calcio y nuevamente se reduce la disponibilidad del fósforo.

2.11.3.2. Materia orgánica y P-disponible. Las reacciones químicas y la actividad microbiana afectan la disponibilidad del P para la absorción de la planta. En un medio ácido, el P es sostenido firmemente por el aluminio y el hierro en los minerales del suelo. Mientras que, bajo condiciones alcalinas, el P es sostenido firmemente por el calcio del suelo. En suelos ácidos y neutros, la dinámica del P inorgánico está dominado por la fijación de PO_4^{3-} sobre los bordes de las arcillas minerales y pedogénesis de óxidos de Al y Fe (Tiessen *et al.*, 1984).

2.11.3.3. Relación humedad del suelo y P-disponible. El incremento del contenido de agua en el suelo, induce necesariamente a un incremento de iones fosfato en solución, fenómeno observado después de las lluvias en suelos de secano o por el efecto mismo del riego en los valles regados.

Este hecho está estrechamente ligado a las características de las formas inorgánicas de fósforo presentes en el suelo (P-Ca, P-Fe y P-Al) cuya naturaleza cristalina

relativamente insoluble, tiene en realidad variables constantes de productos de solubilidad. Así, solo una cierta cantidad del compuesto se disuelve alrededor de las partículas cristalinas, sin embargo, aunque la concentración se mantiene relativamente constante, la cantidad de iones fosfato solubles se amplifica si se incrementa la cantidad de agua en la solución. La cantidad de fósforo absorbido por especies desarrolladas en condiciones de secano es menor en años de mayor sequía y mayor en años lluviosos.

2.11.3.4. Fertilizantes fosfatados y el nivel de P-disponible. El objetivo de la fertilización fosforada es alcanzar un nivel de disponibilidad en el suelo en un período determinado de tiempo, para luego aplicar una dosis de mantención con el fin de compensar la extracción de P debida al cultivo (Rodríguez *et al.*, 2001) Al aplicar fosfatos solubles en un primer momento, la mayor parte del P permanece en forma cambiante, situación que se modifica al poco tiempo, reduciendo progresivamente el P disponible a formas más insolubles (Rodríguez, 1992). Efectos sobre el incremento del P-disponible, se ha logrado con la adición de fertilizantes fosfatados. La fijación del fósforo soluble ocurre rápidamente después de la aplicación de un fertilizante fosfatado; especialmente si el fertilizante se ha mezclado con el suelo. Después de varios días desde su aplicación en un cultivo, cualquier aplicación posterior de fosfatos probablemente originaría cambios mínimos debido al equilibrio alcanzado entre fosfatos solubles y el “fósforo fijado” (Peyrelongue, 1984). A través del tiempo, sin embargo, la disponibilidad del fósforo se ha incrementado debido a que la adición de fósforo fertilizante proporciona una mayor área superficial de compuestos fosforados en contacto con la solución suelo. La remoción de fósforo de la solución efectuada por las plantas, es reemplazada rápidamente por el fósforo fertilizante. La aplicación de fósforo fertilizante al suelo, origina una reacción rápida en la superficie de los minerales arcillosos donde el fenómeno dominante es la adsorción. Posteriormente, una reacción lenta de difusión de fósforo predomina hacia el interior de las partículas. Esta última etapa, define qué cantidad de P agregado permanece en el pool lábil sobre las partículas del suelo (KP) y este valor estima la efectividad residual del fósforo lábil. A través del tiempo, año a año, una fracción del fósforo aplicado el primer año permanece disponible para los cultivos, sin embargo, hay una disminución de este ‘Fósforo residual’ que reduce su disponibilidad en el

proceso de reacción lenta, en forma paulatina, o sea que los cultivos recibirán una proporción cada vez menor del fósforo agregado el primer año a través del tiempo.

2.12 Rol del fósforo en la planta

Posee un rol fundamental al formar parte de la estructura de los metabolitos energéticos adenosin difosfato (ADP) y adenosin trifosfato (ATP). La energía obtenida de la fotosíntesis y del metabolismo de carbohidratos es almacenada y liberada según los requerimientos de los tejidos. Resultan fundamentales en todos los procesos en que existe división celular intensa, o sea meristemas apicales, radicales, proceso de floración y cuajado (Tisdale *et al.*, 1993 Ruiz, 2001). Posee además un importante rol estructural en ácidos nucleicos, en fosfolípidos como parte de la estructura del cloroplasto y en varias coenzimas y fosfoproteínas. A nivel enzimático el fósforo actúa en el proceso de síntesis y degradación del almidón (Ruiz, 2001).

2.12.1 Absorción de fósforo. Las plantas absorben este elemento como ión monofosfato (H_2PO_4^-), con valores de pH ácido a neutro en el suelo y como ión difosfato (HPO_4^{2-}), con valores de pH alcalino en el suelo (Tisdale *et al.*, 1993).

La absorción del fósforo depende en gran medida al grado en que las raíces exploran los diferentes dominios del suelo, en tiempo y espacio (Barber, 1995). Los pelos radicales son células especializadas de la capa exterior del tejido epidérmico de las raíces, que se extienden en forma perpendicular al eje de la raíz. Debido a su forma alargada, avanzan hacia el seno del suelo, incrementando notoriamente la capacidad de exploración de la raíz. Existen evidencias de que su presencia implica un incremento en la adquisición de nutrientes inmóviles, como el fósforo

(Bates y Lynch, 2000) Debido a que la disponibilidad de fósforo es normalmente más elevada en los horizontes superficiales y decrece notoriamente en profundidad, se hipotetizó que sistemas radicales con una concentración de raíces en la superficie del suelo serían más eficientes en la adquisición de fósforo (Lynch y Brown, 2001; Rubio *et al.*, 2001)

2.12.2 Contenido de fósforo en la planta . Las concentraciones de fósforo en la mayoría de las plantas varían entre 0,1 y 0,4%, valores considerablemente bajos comparado con los valores de nitrógeno y potasio (Tisdale *et al.*, 1993).

2.13 Requerimiento de fósforo en los cultivos

Según Rodríguez (1992) En Chile, el nivel de suficiencia para el P disponible (P-Olsen) para un amplio grupo de cultivos ha sido estimado en 16 mg kg⁻¹, señala entre ellos el cultivo de trigo en Andisoles; para suelos aluviales de la zona central indica un nivel de suficiencia de 12 mg kg⁻¹ y para el cultivo de la papa, señala uno de 25 mg kg⁻¹ de P.

2.14 Adsorción de fósforo

Barrow (1980), señala que la adsorción de fosfatos por los suelos se caracteriza por una etapa inicial rápida y una posterior lenta, alcanzando el 90-98% del fósforo agregado. Tisdale y Nelson (1997) señala que en la medida que se agite una cierta cantidad de fósforo soluble en contacto con el suelo, rápidamente una proporción importante de este fósforo soluble desaparece de la solución, debido a que queda retenido en la fase sólida, fenómeno que se conoce con el nombre de fijación. Una proporción importante de este fósforo evoluciona a formas insolubles, por lo que

vuelve con gran dificultad a la solución y otra fracción queda retenida casi irreversiblemente con gran energía, lo que se considera prácticamente una pérdida de fósforo del suelo y se conoce también con el nombre de fósforo ocluido.

Campillo y Sadzawka (2006), señala que en suelos calcáreos de la Zona Central, la fijación ocurre fundamentalmente sobre los carbonatos minerales que tienen una importante superficie específica. La precipitación de fósforo como fosfato de calcio es la principal causa de fijación de fósforo en este tipo de suelos.

Según Campillo y Sadzawka (2006), las reacciones de fijación de fósforo en los suelos Andisoles en cambio, son mucho más enérgicas y éstos adsorben apreciables cantidades a través del tiempo. Éstas alcanzan al 80 a 90% como 'fósforo fijado" del total del fósforo aplicado como fertilizante. La fijación de fósforo ocurre en la superficie de algunos minerales tales como el alofán, la imogolita y complejos humus-Aluminio, especialmente en la estrata arable de los suelos. En general, los iones fosfatos tienen alta afinidad por el Aluminio, Hierro y Calcio, elementos con que forman precipitados insolubles dependiendo de la acidez del suelo. Según Campillo y Sadzawka (2006), señala al respecto, en suelos con presencia de arcillas expansibles, al incrementarse el pH de la solución se produce la ruptura de las estructuras cristalinas y la liberación del Aluminio que se puede combinar con iones fosfatos y formar compuestos insolubles. En estos suelos, el encalado favorece el incremento de la disponibilidad del fósforo por la precipitación del Aluminio. Pinochet, (1997) señala que en los suelos de la zona sur de Chile, parte del fósforo soluble aplicado como fertilizante reacciona adsorbiéndose a las arcillas a otros coloides o precipita como compuesto fosforado insoluble de acuerdo al pH del medio.

2.15 Fósforo en suelos de cenizas volcánicas del sur de Chile

En la zona Centro Sur de Chile, el fósforo (P), es el elemento más deficitario para una adecuada productividad de los cultivos y las praderas. (Pinochet, 1996). Las principales causas de estas deficiencias serían, por una parte debido a que la recomendación de fertilización fosforada para las praderas se hacen con dosis bajas para que sea económicamente rentable y por otra parte la retención de fósforo por el suelo para entregar un nivel de disponibilidad, debido principalmente a la reactividad de las arcillas que se encuentran en los suelos derivados de materiales volcánicos (Pinochet, 1996).

2.16 Capacidad Tampón del fósforo

Según Campillo y Sadzawka (2006), la capacidad tampón del suelo o CP corresponde a la resistencia de un suelo particular a elevar sus contenidos de P-disponible al incrementar la aplicación de P-fertilizante. En otras palabras, es la cantidad de P-fertilizante que es necesario agregar para elevar el Fósforo disponible en 1 mg/Kg o ppm de fosfato por Kg de fósforo aplicado. El CP es una característica química del suelo, que se refiere a la relación entre el P-disponible que éste es susceptible de mantener en equilibrio en la solución suelo por cada Kg de fósforo agregado como fertilizante soluble al agua, tal como el Superfosfato Triple.

2.17 Fertilización de corrección y mantención

El fosfato mineral es la materia básica de casi toda la producción de fertilizantes fosfatados, siendo reservas mundiales de fosfato mineral enormes. Lo mas importantes depósitos se encuentran en Estados Unidos, representado cerca del 30% de las reservas mundiales (Rodríguez, 1993).

Pinochet (1996), señala que existen dos conceptos de fertilización fosforada, la fertilización de corrección, que consiste en elevar el nivel de fósforo, desde un nivel de deficiencia a un nivel de suficiencia deseado, para lo cual se requieren dosis altas de fertilización fosforada. Y la fertilización de mantención, la cual se aplica una vez alcanzado el nivel de suficiencia deseado y compensa las pérdidas producidas.

Según Campillo y Sadzawka (2006) En la planificación de la fertilización fosfatada en los agro sistemas, debe considerarse las características de fijación de fósforo del suelo o su reactividad, una estimación de la extracción efectuada por los cultivos, los contenidos de P disponible del suelo y los antecedentes disponibles relativos al historial de fertilización tales como fuentes fertilizantes empleadas, formas y épocas de aplicación de fósforo.

Existen diferentes estrategias de fertilización fosforada y éstas se basan en los niveles de disponibilidad de P en el suelo y en las características fisicoquímicas de éstos, tales como el pH, la presencia de aluminio, el tipo y la cantidad de arcilla, contenido de aluminio extractable, hierro y calcio, los cuales influyen en la disponibilidad de fósforo para las plantas (Hablan *et al.*, 1999; Sadzawka y Carrasco, 1985).

Según Campillo y Sadzawka (2006) En el caso de considerar un criterio de fertilización de mantención, se aplica una dosis equivalente a la Dosis Óptima Económica, que permite suplir los requerimientos del cultivo o pradera para lograr un rendimiento esperado rentable.

Con este criterio de fertilización se apunta a cubrir la cantidad de fósforo necesaria para corregir el déficit nutricional o diferencia entre los requerimientos del cultivo y el suministro de P disponible.

Según Campillo y Sadzawka (2006) Un criterio conservacionista estratégico, podría basarse en el empleo de una dosis de corrección basal, o sea la cantidad de fertilizante fosfatado necesaria para subir los contenidos de P-disponible presente en el suelo hasta un nivel determinado, más la dosis de producción, que será la cantidad total de fósforo necesaria para suplir los requerimientos del cultivo o pradera que dependerá del rendimiento esperado de la especie.

2.18 Pérdidas del fósforo del suelo.

En los últimos años muestran que las pérdidas más importantes de P se deben al arrastre de P particulado y no a la lixiviación de P soluble o reactivo (Haygarth *et al.*, 1998). El P particulado es el P asociado a partículas de suelo, tanto orgánicas como minerales, que se perdería por arrastre superficial o sub-superficial de agua en todos los suelos (Haygarth y Jarvis, 1999; Preedy *et al.*, 2001) o por flujo preferencial o a través de grietas en suelos arcillosos (Turner y Haygarth, 2000) o en aquellos con predominancia de flujo de macroporos, cuando este elemento se ha acumulado en el suelo (Whitehead, 2002). Es así como existe una fuerte dependencia entre el nivel de P transferido a cursos de agua y el comportamiento hidrológico del suelo, asociada a cantidad e intensidad de precipitación (Preedy *et al.*, 2001), además del contenido inicial de P en el suelo y de la disponibilidad de fertilizantes (Withers y Bailey, 2003) o excretas en la superficie del mismo (Jarvis, 2002).

3. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en macetas en los invernaderos del Departamento de Ciencias Químicas, perteneciente a la Universidad de la Frontera, a partir de octubre de 2009 hasta Diciembre de 2009 (60 días).

3.1 Suelos utilizados

Se utilizaron dos series de Andisoles, serie Piedras Negras y serie Freire con las siguientes características:

Familia: Chan-Chan.

Serie: Piedras Negras.

Clasificación: medial, isomesic, Typic Dystrandept.

Ubicación: Comuna de Río Bueno.

Fisiografía: Depresión Intermedia. Plano fluvio-glacial y aluvial. Altura 120 a 150 m.s.n.m.

Topografía: Plana con pendiente de 0 a 1% y de 1 a 3%.

Drenaje: Imperfecto.

Vegetación: Formación de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*, asociados a *Eucryphia cordifolia* y *Nothofagus dombeyi*.

Temperatura del suelo: Media anual 12,4°C; verano 14,9°C.

Régimen de temperatura: Mésico.

Pluviometría: Anual: 1200-1500 mm; otoño 400-500 mm; invierno 600-700 mm; primavera 300-400; verano 150-200 mm.

Régimen de humedad: Udico

Material parental: Cenizas volcánicas modernas.

Familia: Freire.

Serie: Freire.

Clasificación: Medial, mesic, Serie Placandeps.

Ubicación: A 3 km. al norte de Freire por Carretera Panamericana. Fundo "Rucahue"

Fisiografía: Depresión Intermedia. Plano fluvio-glaciales.

Topografía: Plano 0 a 1% de pendiente.

Drenaje: Pobre a moderado.

Vegetación: Formación de "ñadis". *Drymis winteri*; *tepulia sitpolurais*; *Myrthus luma*; *Myrceugenia pitra*.

Temperatura del suelo: Media anual 14,6°C; verano 17,5°C.

Régimen de temperatura: Mésico.

Pluviometría: Anual: 1500-2000 mm; otoño 400-500 mm; invierno 700-1000 mm; primavera 300; verano 100-150 mm.

Régimen de humedad: Udico

Material parental: Cenizas volcánicas modernas.

Cuadro 3. Características químicas de los 2 suelos utilizados.

MUESTRA		
Serie	Freire	Piedras Negras
Profundidad muestreo (cm)	20	20
P (mg/kg)	18	5
K (mg/kg)	254	125
pH (en agua)	5.82	4.80
Materia Orgánica (%)	18	25
K (meq/100g)	0.65	0.32
Na (meq/100g)	0.08	0.12
Ca (meq/100g)	8.46	2.80
Mg (meq/100g)	1.17	1.13
Al (meq/100g)	0.09	0.62
S (mg/kg)	19	6
Suma de Bases (cmol+/kg)	10.36	4.37
CICE (meq/100g)	10.45	4.99
Saturación Al (%)	0.86	12.42

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos de Suelos. Agroindustria Universidad de la Frontera.

3.2 Cultivar utilizado en el ensayo

Se usó la especie *Lolium perenne* L. cultivar Nui, de características diploide de floración precoz, presenta un hábito de crecimiento semi-postrado (Demagnet, 1994).

3.3 Fertilización

El suelo fue previamente tamizado (5 mm) y homogeneizado, colocando 1.5 kg/maceta de Andisol.

3.3.1 Fertilización Base

Se utilizó urea como fuente de nitrógeno, cloruro de potasio como fuente de Potasio y cloruro de magnesio como fuente de Magnesio, con dosis de 150 ppm de N, 70 ppm de K y 20 ppm de Mg. Con respecto al nitrógeno este se parcializó en dos aplicaciones (emergencia de plántulas y después del primer corte).

3.3.2 Fertilización con azufre y fósforo

Se utilizó sulfato de calcio (yeso) como fuente de S y superfosfato triple en polvo como fuente de P, este fue molido y posteriormente se pesaron en microbalanzas con las cantidades correspondientes a cada tratamiento y homogeneizado con el suelo de cada maceta.

Cuadro 4. Fertilización con SFT y Yeso

Fertilización fosfatada	Freire (g SFT/maceta)	Piedras Negras (g SFT/maceta)
0 mg de P /kg suelo	0	0
150 mg de P /kg suelo	1,120	1,120
Fertilización Azufrada	g yeso/maceta	g yeso/maceta
0 mg de S /kg suelo	0	0
100 mg de S /kg suelo	0,833	0,833
200 mg de S /kg suelo	1,666	1,666
400 mg de S /kg suelo	3,333	3,333

3.4 Siembra

Se sembraron 100 semillas de *Lolium perenne* L. cultivar Nui por maceta de forma superficial

3.5 Cuidados culturales

3.5.1 Raleo: A los 7 días posteriores a la siembra se raleó dejando 80 plántulas por maceta.

3.5.2 Riego: Se regó día por medio con 100ml de agua destilada por maceta, manteniendo el suelo a capacidad de campo.

3.5.3 Control de maleza: Se realizó el control manual, extrayéndolas en la medida que aparecían.

3.6 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño factorial (2 x 4 x 3) completamente al azar, con 2 niveles de fertilización fosfatada (0 y 150 mg P kg⁻¹ suelo) como Super Fosfato Triple, 4 niveles de azufre (0, 100, 200, 400 mg S kg⁻¹ suelo), como sulfato de calcio (yeso), y 3 repeticiones. Los tratamientos correspondieron a 8 combinaciones S/P (mg/kg), como se indica a continuación. Esto para 2 series de suelo (Freire y Piedras Negras).

Cuadro 5. Tratamiento de fertilización del ensayo

Relación azufre/fósforo (mg/kg S / mg/kg P)				
	0 S	100 S	200 S	400 S
0 P	0S/ 0P	100 S/ 0P	200 S/ 0P	400 S/ 0P
150 P	0S/150P	100 S/150 P	200 S/150 P	400 S/150 P

3.7 Evaluaciones

3.7.1 Rendimiento de materia seca por maceta. Se realizaron dos cortes a cada maceta, en las siguientes fechas:

1° corte: 17/11/2009

2° corte: 16/12/2009

Inmediatamente cortadas, se determino el peso húmedo de cada muestra foliar y raíz, se colocaron en bolsas de papel debidamente identificadas, para luego ser secadas en un horno de ventilación forzada por 48 horas a una temperatura de 65° Celsius, con el objeto de determinar la cantidad de materia seca de ballica por maceta. Después de secadas las muestras se pesaron en balanza y luego se molieron.

3.7.2 Análisis Químico

- Análisis químico foliar y raíz.

- 1.- Fósforo: Extracción con solución de NaHCO_3 pH: 8,5
- 2.- Azufre: Por digestión ácida. Y después lectura por método turbidimétrico (garrido, 1964).

- Análisis químico de suelos.

Se realizó un análisis de suelo inicial y al término del ensayo. Se tomó una muestra compuesta al comienzo, a 20 cm. a cada uno de los suelos en estudio y al término del ensayo a cada maceta, realizando las siguientes mediciones:

- 1.- P disponible: Método Olsen (extracción con solución de NaHCO_3 pH 8.5)
- 2.- pH: Medición potenciométrica en suspensión agua-suelo (1:2,5).

- 3.- K, Ca, Mg (suma de bases): método espectrofotométrico (EAA), previa extracción con acetato de amonio pH 7.0.
- 4.- Al intercambiable: extracción con KCL 1M y determinación mediante EAA.
- 5.- Saturación de aluminio: relación porcentual con suma de bases.
- 6.- CICE: suma de al intercambiable + suma de bases
- 7.- Mn, Fe, Cu, Zn: De extracción con solución DTPA-CaCl₂-TEA, a pH 7.3, y luego se lee en espectrofotómetro de absorción atómica (EAA).
- 8.- B: Por extracción con CaCl₂ al 0,1% y lectura por colorimetría.
- 9.- S: Por extracción con fosfato de calcio (Ca(H₂PO₄)₂ 500ppm P); descrito por Fox *et al.* (1964), y lectura por turbidimetría.

3.7.3 Recolección de solución de suelo

Se Recolecto solución de suelo a los 10, 20, 40, 50 días desde la siembra (1 rizon por maceta), y se midió pH en la solución rizósferica, y azufre por cromatografía iónica.

3.8 Análisis estadístico

Se utilizaron los programas estadístico JMP 8, Sigmastat y SPSS, en los cuales se realizaron diversos análisis de varianza de una y dos vías, manova y modelo lineal general de medidas repetidas, las medias fueron comparadas entre sí por el test de Tukey a 5% de probabilidad. Además, para cada conjunto de datos se determinó el error estándar.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis de la producción de fitomasa acumulada.

En el cuadro 6; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre la producción de fitomasa acumulada en los dos Andisoles. Se presentó un efecto positivo con aplicaciones individuales de fósforo en ambos suelos; donde los mayores rendimientos se alcanzaron con la dosis individual de P (150P), los cuales fueron 2,78 y 2,45 g ms/maceta en los suelos de Piedras Negras y Freire, respectivamente. De acuerdo con resultados anteriores, Acuña *et al.* (1994), determino una alta respuesta a la fertilización fosfatada en pasturas de ballica con trébol rosado en un Andisol.

CUADRO 6. Rendimiento de fitomasa acumulada (g ms/maceta) de *Lolium perenne* L., según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	0,74 d	1,02 c	0,94 cd	1 c
	150	2,78b	3,21a	3,38 a	3,22 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	1,67 d	1,84 cd	1,97 c	1,68 d
	150	2,45 ab	2,50 ab	2,55 a	2,33 b

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

Con respecto al S aplicado en forma individual se comporto de manera similar en los dos Andisoles en estudio, los cuales presentaron un efecto significativo sobre el rendimiento con dosis crecientes de S con respecto al control (0S). En el Andisol Piedras Negras la aplicación individual más baja de S (100S) con la más alta (400S) lograron el mismo aumento con un 8% respecto al testigo (Cuadro 7); no así con la dosis de (200S) que el aumento fue menor con un 6%. En Andisol Freire no hubo diferencias significativas con el testigo con la mayor dosis de S (400S), pero si con las dosis de S (200S), donde se incremento el rendimiento en un 11% con respecto al testigo, para el tratamiento (100S) el aumento correspondió a un 6%. Oyarzun (1999) presento un efecto similar con la aplicación creciente de S y obtuvo aumentos en el rendimiento en *Trifolium pratense* L., este efecto puede estar relacionado con la fertilización base de N, ya que la disponibilidad de S en el suelo en niveles no limitantes para el desarrollo de los cultivos, mejora la eficiencia de uso de N aplicado como fertilizante (Zia *et al.*, 1999), estos datos concuerdan con los resultados de Brown *et al.*(2000), que encontraron en Inglaterra que en suelos permeables, la aplicación de S incrementa la eficiencia de utilización de N. Del mismo modo Rubio *et al.* (2007) experimento un efecto sinérgico en la interacción de S x N en la absorción de N y S en plantas de *Triticum aestivum* L. Otra explicación puede estar relacionada con la absorción del P disponible del suelo, ya que la absorción de S y P se encuentra íntimamente relacionada, de manera tal que la deficiencia de uno de estos elementos limita el aporte del suelo y la absorción del otro (Mora *et al.*, 2002).

Los mayores rendimientos de fitomasa acumulada con aplicaciones individuales de S fueron de un 1,02 g ms/maceta y 1,97 g ms/maceta, para los tratamientos (0P/100S) suelo Piedras Negras y (0P/200S) suelo Freire.

Cabe recalcar que en el suelo Freire los tratamientos con la menor fertilización de individual S (100S) y la mayor (400S) no hubo diferencias significativas. En cambio en Piedras Negras si hubo una leve diferencia estadística.

Hubo diferencias en los rendimientos de fitomasa acumulada entre las aplicaciones individuales de P y S en los dos suelos, donde los rendimiento más bajos fueron en las combinaciones sin P (0P/100S, 0P/200S y 0P/400S) siendo más bajas en suelo Piedras Negras sobre Freire, no así con aplicaciones de P donde los tratamientos 150P/0S, 150P/100S, 150P/200S y 150P/400S fueron mayores en suelo Piedras Negras sobre suelo Freire. Para explicar estas diferencias de rendimiento entre los dos Andisoles existen varios factores uno de ellos es la interacción con la fertilización de SxP, ya que según Mora *et al.* (2005) demostraron que, en general, con una alta concentración de sulfato y fosfato en la solución mineral, se tiene un efecto positivo en la desintoxicación de aluminio. Por lo tanto el suelo Piedras Negras pudo evitar una limitante que es el alto porcentaje de saturación de aluminio (cuadro 3, anexos) y expresar de mejor manera su potencial productivo. Otra explicación al aumento en la generación de fitomasa del suelo Piedras Negras sobre Freire con niveles de P, se puede deber a la fertilización base nitrogenada, ya que estudios reportados por Cartes *et al.* (2009), en donde realizo estudios de incubación para evaluar el efecto de la temperatura y niveles del suministro de urea sobre la actividad ureasa y cinética de la mineralización de N en dos Andisoles y concluyo que en el suelo Freire la mayor parte de la urea se transformó en NO_3^- -N en los primeros días del experimento, y por lo tanto hubo una gran cantidad de N que podría ser potencialmente perdidos por lixiviación. En cambio, en el suelo Piedras Negras la mayor parte del N se mantuvo como NH_4^+ -N durante el período experimental, lo que significa que las pérdidas por lixiviación de N podrían verse disminuidas y las emisiones de NH_3 podrían aumentar. Se puede inferir que el suelo Piedras Negras retuvo más N que Freire, por lo cual afecto de mejor manera el rendimiento de fitomasa. Otro factor menos relevante se puede deber al aumento de la exudación de ácidos orgánicos por parte de la planta, de acuerdo

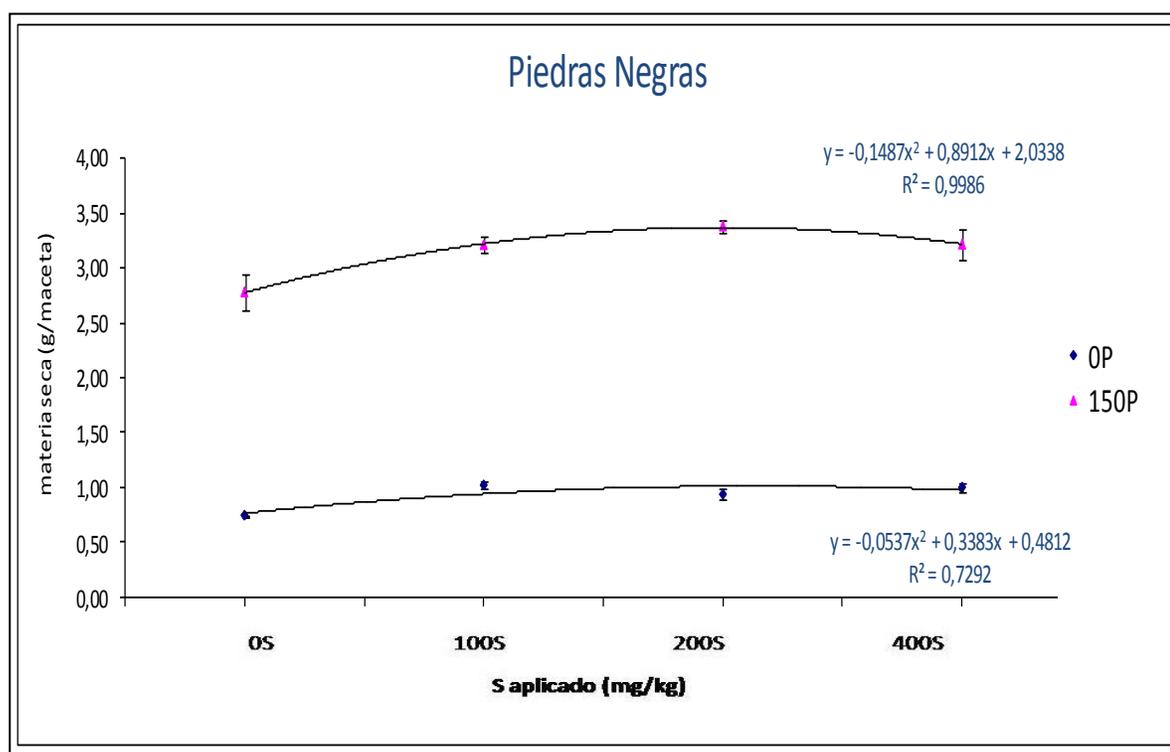
con Ayalew *et al.* (2004) las plantas exudan ácidos orgánicos como mecanismo de tolerancia a la toxicidad del aluminio y la deficiencia de fósforo. Estos datos concuerdan con el suelo Piedras Negras ya que el P-disponible fue bajo y el porcentaje de saturación de aluminio alto en comparación a Freire (Cuadro 3) por lo tanto hay una mayor exudación por parte de la planta de ácidos orgánicos. Como lo reafirma Minnesinger (2001) existe un aumento de aniones de ácidos orgánicos en condiciones de limitación de fósforo. Al respecto Rosas *et al.* (2011) determino en ensayos realizados con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. que el contenido de de ácidos orgánicos exudados por la planta como malato, citrato, oxalato y succinato aumentaban a medida que la disponibilidad de P disminuía, por lo tanto a mayor fertilización fosfatada menor exudación de ácidos orgánicos.

CUADRO 7. Rendimiento de fitomasa acumulada (g ms/maceta) y Rendimiento relativo (%) sobre la base del máximo rendimiento de *Lolium perenne* L.

Relación S/P (mg/kg)	Piedras Negras		Freire	
	Rdto. Promedio (g ms/maceta)	Rdto. Relativo (%)	Rdto. Promedio (g ms/maceta)	Rdto. Relativo (%)
0P/0S	0,74	22	1,67	66
0P/100S	1,02	30	1,84	72
0P/200S	0,94	28	1,97	77
0P/400S	1,00	30	1,68	66
150P/0S	2,78	82	2,45	96
150P/100S	3,21	95	2,50	98
150P/200S	3,38	100	2,55	100
150P/400S	3,22	95	2,33	91

El suelo Piedras Negras sin aplicaciones de P presentó los niveles más bajos en el rendimiento de fitomasa acumulada entre los dos Andisoles estudiados. El rendimiento más bajo correspondió al testigo con un 0,74 g./maceta y con un rendimiento relativo del 22%.

La interacción SxP presentó un aumento en el rendimiento de la fitomasa acumulada en ambos Andisoles con respecto al testigo, los mayores rendimientos se alcanzaron con los tratamientos de (150P/200S) 3,38 g./maceta en Piedras Negras y (150P/200S) 2,55 g./maceta en Freire, con un aumento en el rendimiento con respecto al testigo del 78% y 34% respectivamente. En suelo Piedras Negras la interacción SxP no hubo diferencias significas entre los tratamientos, en cambio en el suelo Freire sí presentó diferencias significativas en los rendimientos para los tratamiento (150P/400S) el cual fue el de más bajo rendimiento para la fertilización S/P.



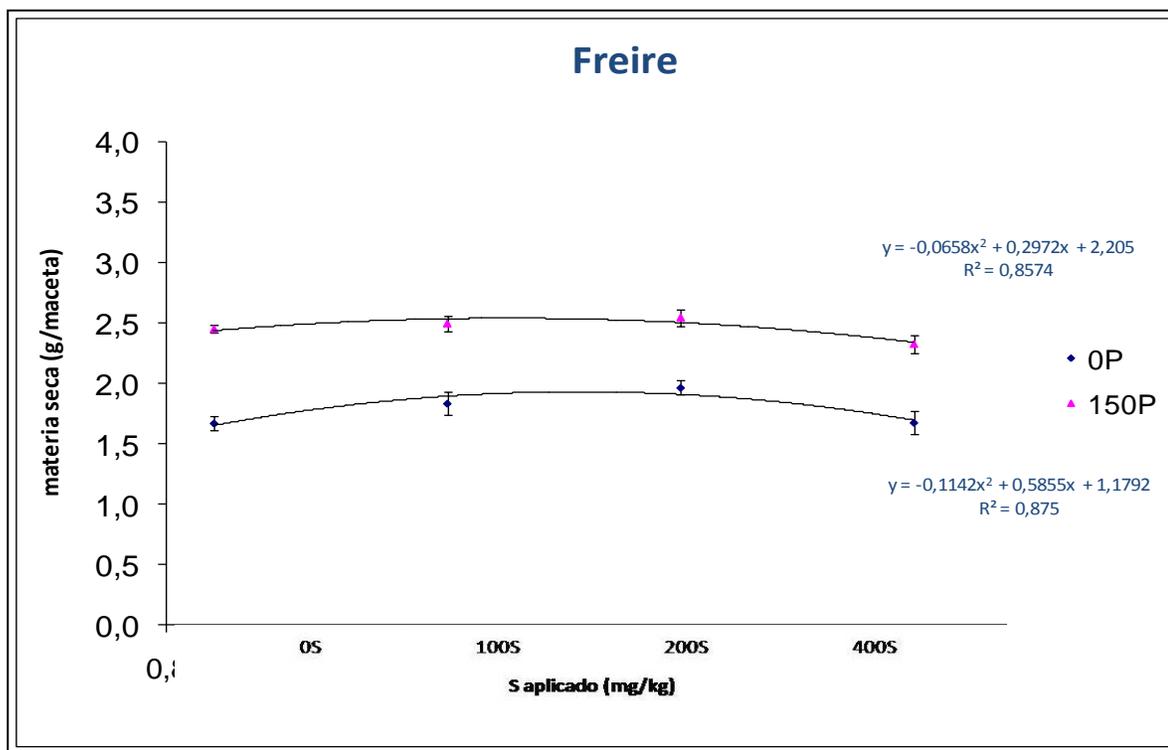


FIGURA 1- Tendencia de la producción de fitomasa acumulada de *Lolium perenne L.* a diferentes niveles de P, en Andisol Serie Piedras Negras y Freire.

La Figura 1 correlaciona el S aplicado con dos niveles de P, donde se demostró que la aplicación de P fue positiva en la generación de fitomasa, en ambos suelos. La mayor respuesta a la fertilización fosfatada fue en Piedras Negras donde alcanzo un $R^2 = 0,99$, por otra parte también hubo un efecto sinérgico en aplicaciones de S y P, ya que genero un aumento significativo en el rendimiento de fitomasa acumulada, no obstante la dosis más alta de S (400S) genero un efecto antagonista en la generación de fitomasa con y sin P, en ambos suelos. Estos resultados se reafirmaran con lo experimentados por Oyarzun (1999), donde con *Trifolium repens L.*, observo que ha niveles altos de 400P y 600P con las dosis más altas de S (600S) había un efecto antagónico en el rendimiento a diferentes combinaciones de ambos elementos. Los rendimientos más bajos se obtuvieron con las dosis crecientes de S y sin P con un $R^2 = 0,88$ en suelo Freire y suelo Piedras Negras con un $R^2 = 0,75$.

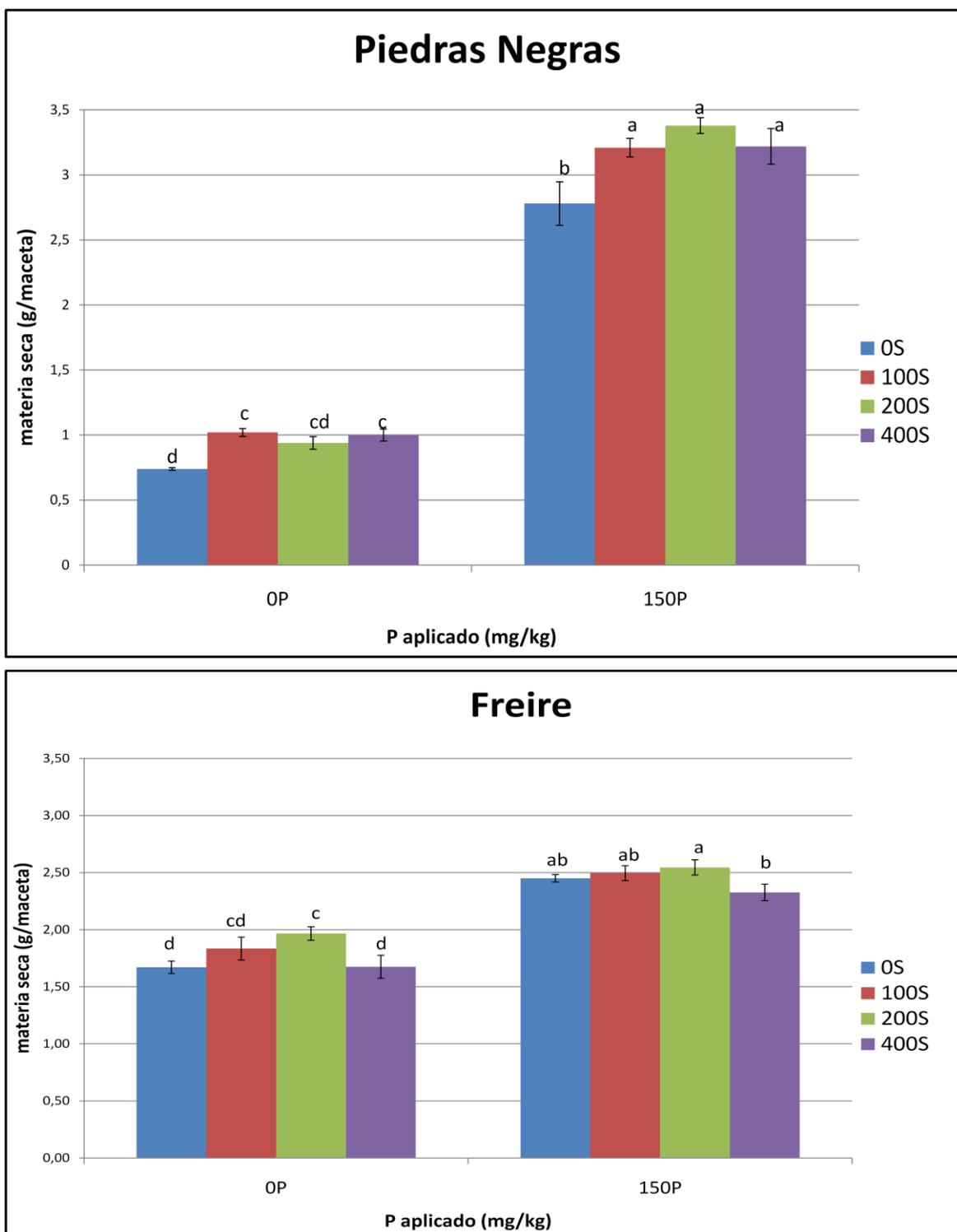


FIGURA 2. Producción de fitomasa acumulada de *Lolium perenne* L. a diferentes niveles de S, en Andisol Serie Piedras Negras y Freire.

En la figura 2 se puede apreciar la diferencia en la generación de fitomasa entre los suelos de Piedras Negras y Freire con respecto a los tratamientos sin P y con aplicaciones crecientes de S, en donde se evidencia un aumento significativo en Freire con rangos entre los 1,67-1,97g ms/maceta, siendo menor en Piedras Negras con 0,74-1,02 g ms /maceta. Lo cual se puede explicar debido al P-Olsen disponible, el cual fue mayor en Freire con respecto Piedras Negras (Cuadro 3, anexo). Para reafirmar lo expuesto, (Sharpley, 1995) señala que los suelos poseen diferentes potenciales de producción y esta asociados al contenido de P del suelo.

También se evaluo el efecto de la fertilización azufrada y fosfatada en el largo foliar en dos mediciones con intervalo de un mes (figura 3).

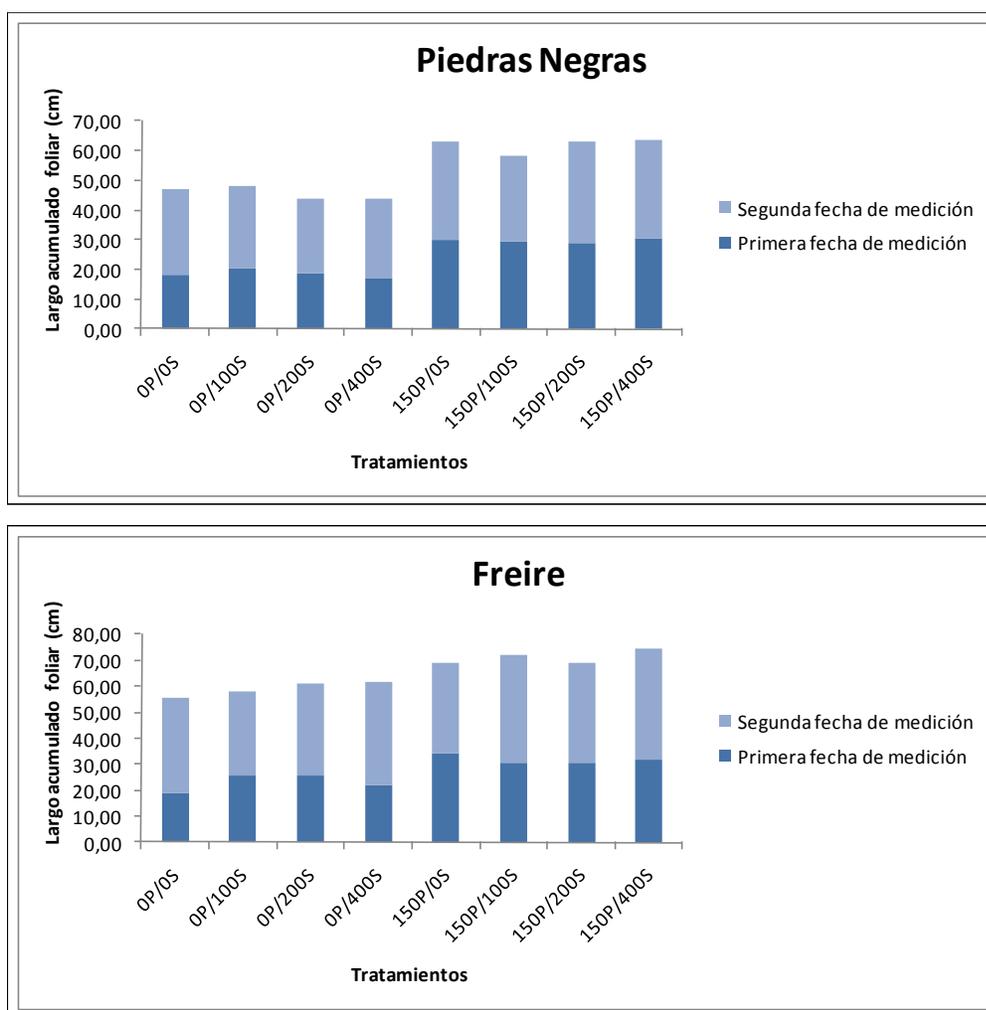


FIGURA 3. Largo foliar acumulado *Lolium perenne* L en dos mediciones con un intervalo de un mes a diferentes niveles de S y P, en Andisol serie Piedras Negras y Freire.

En la figura 3, anexo, se observa el efecto de la fertilización azufrada y fosfatada en el aumento del largo foliar, donde se obtuvo un mayor largo foliar en Freire sobre Piedras Negras en todas las combinaciones de S/P, sin embargo respecto a la fertilización P y sus combinaciones con S, no conlleva a un mayor rendimiento en fitomasa, ya que Piedras Negras con fertilización fosfatada obtuvo los mayores rendimientos.

Como era de esperar también se observa en ambos suelos un mayor largo foliar con aplicaciones de P.

4.2 Contenido de azufre foliar

En el cuadro 8, se muestra el efecto de las diferentes combinaciones de S/P sobre el contenido de S-foliar del promedio de los dos cortes en los dos Andisoles. Se observa que en ambos suelos con dosis individuales crecientes de S, hubo un aumento progresivo el contenido de S foliar. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Oyarzun (1999), donde en *Trifolium repens* L. experimento un aumento en el contenido de S foliar con dosis individuales crecientes de S en un Andisol y Ultisol.

CUADRO 8. Contenido de azufre acumulado foliar de *Lolium perenne* L. expresados en g/kg de S, según tratamiento.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	2,2 cd	2,7 ab	2 d	2,7 ab
	150	2,3 bcd	2,5 bcd	2,6 bc	3 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	2,3 cd	2,6 c	3,2 b	3,8 a
	150	2,1 d	2,3 cd	2,1 d	1,9 d

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

El contenido de S foliar más alto se presentó en el tratamiento 0P/400S con 3,8 g/kg de S perteneciente al suelo Freire y el más bajo en el tratamiento 150P/400S con un 1,9 g/kg de S en el suelo Piedras Negras. Con respecto al contenido de S foliar más alto obtenido en el suelo Freire (0S/400P), Alfaro (1999) señala que cuando los niveles foliares superan los 3,5 g/kg de S, se pueden obtener un pradera de mejor calidad, pero no un aumento en el rendimiento. En este caso solo es válido para este tratamiento, ya que los demás tratamientos no sobrepasaron los 3 g/kg.

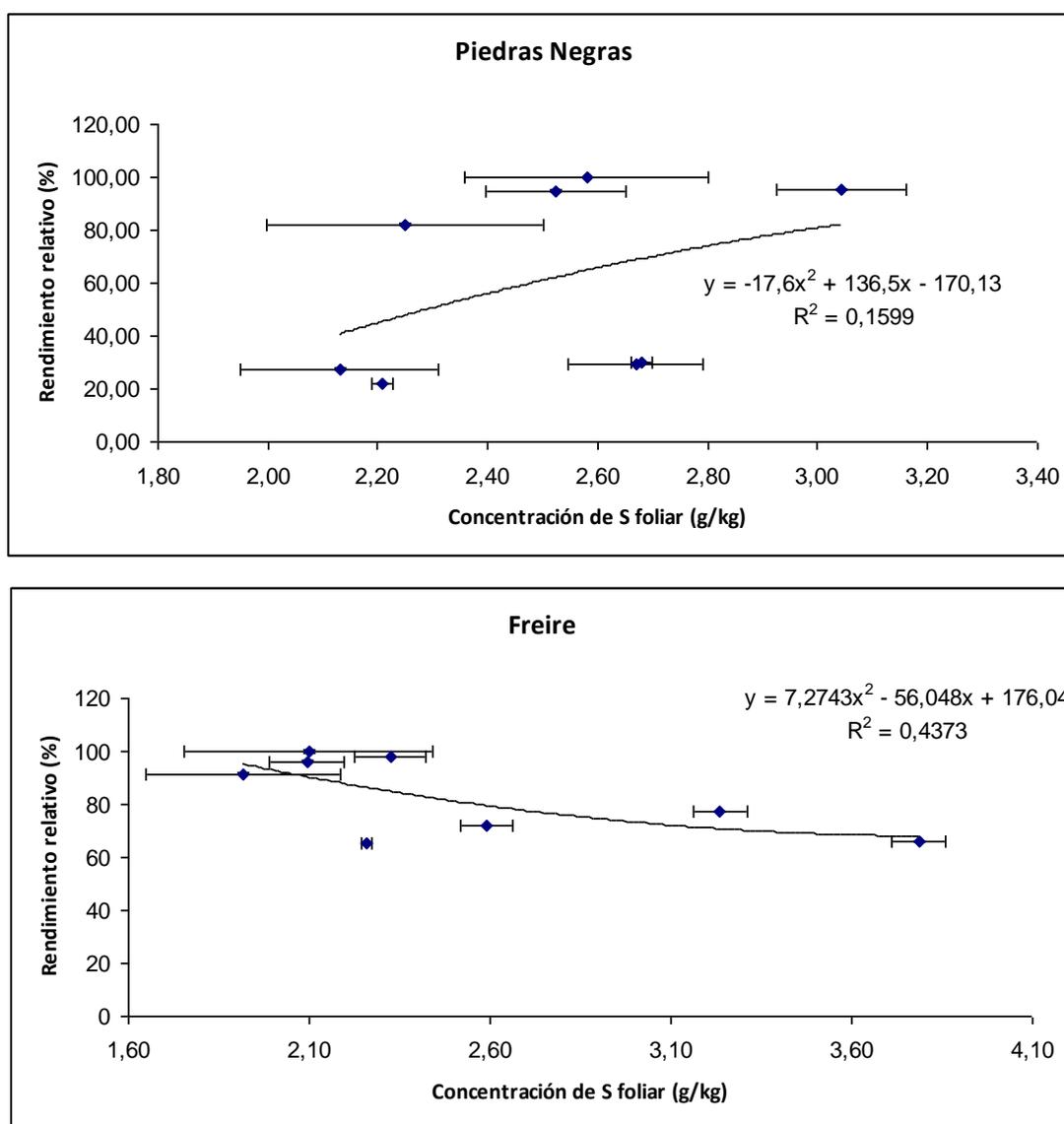


FIGURA 4. Relación entre el rendimiento relativo de *Lolium perenne* L. y la concentración de S foliar a diferentes niveles de S y P.

Los rangos en los niveles de S foliar presentaron una moderada variación en ambos suelos fluctuando entre los 2,2-3 g/kg de S para Piedras Negras y 1,9-3,8 g/kg en suelo Freire.

En suelo Freire la interacción SxP presento un efecto antagonista en la absorción de S. No así en Serie Piedras Negras.

En la figura 4 se puede observar el efecto que tiene la concentración foliar de S (g/kg) sobre el rendimiento relativo (%) de fitomasa acumulada, se observa una baja correlación en los dos suelos, para el suelo Piedras Negras presento un $R^2 = 0,16$, y un $R^2 = 0,44$ en el suelo Freire, por lo tanto existe un baja incidencia del S foliar en la generación de fitomasa. Estos datos discrepan con Oyarzun (1999) que en *Trifolium repens* L. encontró una correlación alta entre la concentración de S foliar y el rendimiento relativo de fitomasa acumulada en un suelo Andisol con un $R^2=0,60$.

4.3 Contenido de fósforo foliar

En el cuadro 9; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el contenido de P foliar (g/kg ms) del promedio de los dos cortes en los dos Andisoles.

CUADRO 9. Contenido de fósforo (g/kg ms) en la fitomasa de *Lolium perenne* L., según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	1,19 d	1,22 d	1,48 b	1,63 a
	150	1,37 c	1,51 b	1,34 c	1,48 b

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	2,62 a	2,20 bc	2,12 c	2,58ab
	150	2,62 a	2,69 a	2,77 a	2,80 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

El contenido de P foliar presento una variación entre el 1,19 y 1,63 g P/kg ms para el suelo Piedras Negras y entre 2,12 y 2,62 g de P/kg de ms. en el suelo Freire.

El mayor contenido de P foliar se presento en Andisol Serie Freire con respecto a Serie Piedras Negras. Hubo diferencias significativas en el contenido de fósforo foliar entre ambas Series de Andisoles, donde la Serie Piedras Negras estuvo entre 1,19-1,63 g de P/kg de ms, para la Serie Freire presento una variación entre los 2,12-2,80 g de P/kg de ms, según Gallardo *et al.* 2005 experimento variaciones en el contenido foliar de P en trigo donde se redujo el P en la planta debido a un alto contenido Al en el suelo, de acuerdo a esto el porcentaje de Al (cuadro 1) fue mayor en Serie Piedras Negras con respecto a Serie Freire.

Las aplicaciones individuales de fósforo presento un efecto positivo en el contenido de fósforo foliar en la Serie Piedras Negras, no así en la Serie Freire donde no existieron diferencias significativas entre el tratamiento con aplicación de P y el testigo.

Respecto a la interacción SxP hubo un efecto en el aumento del P absorbido en Serie Freire en comparación a los tratamientos sin aplicaciones de P, en cambio en suelo Serie Piedras Negras no se presento un efecto en el aumento de los niveles de P absorbido.

Con aplicaciones individuales de S en Serie Piedras Negras hubo diferencias positivas con respecto al testigo en los tratamientos con aplicaciones de 200S y 400S, no así con la aplicación

mínima 100S. En Serie Freire no se presentó un efecto positivo con aplicaciones individuales de S con respecto el testigo.

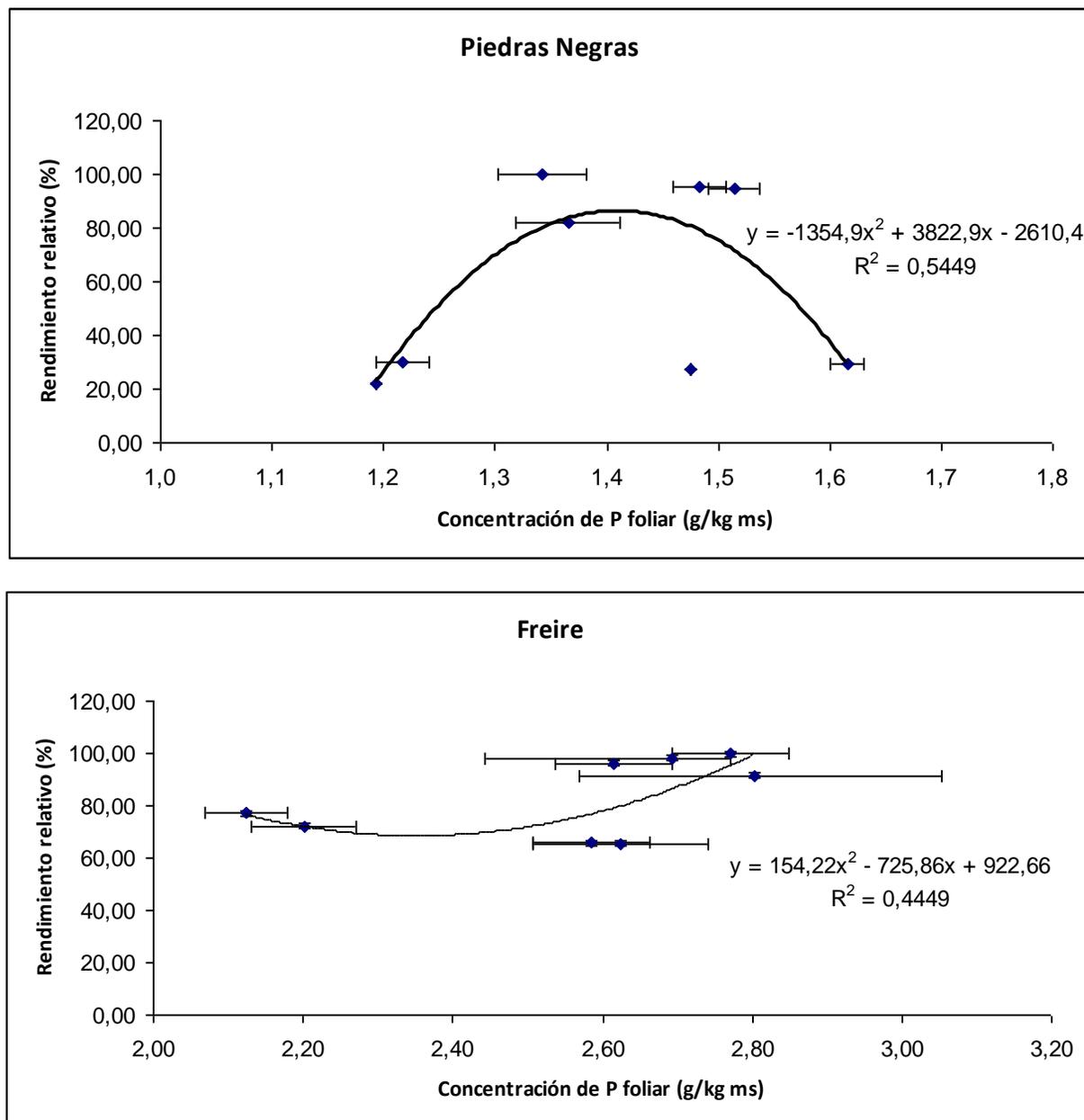


FIGURA 5. Relación entre el rendimiento relativo de *Lolium perenne* L. y la concentración de P foliar a diferentes niveles de S y P.

En la figura 5, se encontró una correlación positiva en la concentración de P foliar con respecto al rendimiento relativo de fitomasa en ambos suelos, siendo mayor en Piedras Negras con un $R^2 = 0,55$ y menor en Freire con un $R^2 = 0,45$. Lo cual demuestra una participación del P en los procesos vitales de la planta y en el aumento de la fitomasa (Mengel y Kirby, 1987).

4.4 Contenido de azufre en la raíz

En el cuadro 10; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el contenido de S-raíz (g/kg) de la fitomasa radical en los dos Andisoles.

CUADRO 10. Contenido de azufre acumulado en la raíz de *Lolium perenne* L. expresados en g/kg de ms, según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	1 c	1,8 ab	1,8 ab	2,3 a
	150	1,3 bc	1,3 bc	1,1 c	1,3 bc

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	1,6 abc	1,2 bcd	1,1 cd	1,6 abc
	150	0,9 cd	1,4 bcd	1,7 ab	2,0 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

El contenido de azufre acumulado en la raíz presento un efecto inversamente proporcional entre los dos Andisoles.

El tratamiento que más azufre acumulo en la raíz fue el 0P/400S con un contenido de 2,3 g/kg de S en Serie Piedras Negras. El tratamiento con menos acumulación de S en la raíz fue el 150P/0S de la Serie Freire con un contenido de 0,9 g/kg.

El suelo Piedras Negras presento un aumento en el contenido de S de la raíz con respecto al suelo Freire con aplicaciones crecientes de S y sin P, esto se puede deber a que el suelo Piedras Negras al tener un pH ácido y un mayor contenido de Al (cuadro 3) con respecto al suelo Freire obtuvo un menor contenido de S radical, estos resultados son reafirmados por los obtenidos por Mora *et al.* (2005) donde en ballica observo un efecto benéfico de un pH ácido sobre el contenido de S radical, dentro de ese mismo estudio también determino que hubo un mayor contenido de S radical con mayores dosis de Al.

No hubo diferencias significativas en los tratamientos 100S y 200S sin aplicación de P en el suelo Piedras Negras. No se presento diferencias estadísticas entre el testigo y la máxima aplicación individual de azufre 0P/400S en el suelo Freire.

Hubo un aumento en el contenido radicular de S con aplicaciones individuales de fósforo en relación a los niveles crecientes de S (0, 100, 200, 400), en Serie Freire; no así en comparación a la Serie Piedras Negras donde hubo una disminución en los niveles del contenido radicular de S con respecto a la aplicación de P.

En la Serie Piedras Negras la interacción SxP presento un aumento en la acumulación de S en la raíz con respecto a las aplicaciones sin P. En la Serie Freire si presento un aumento.

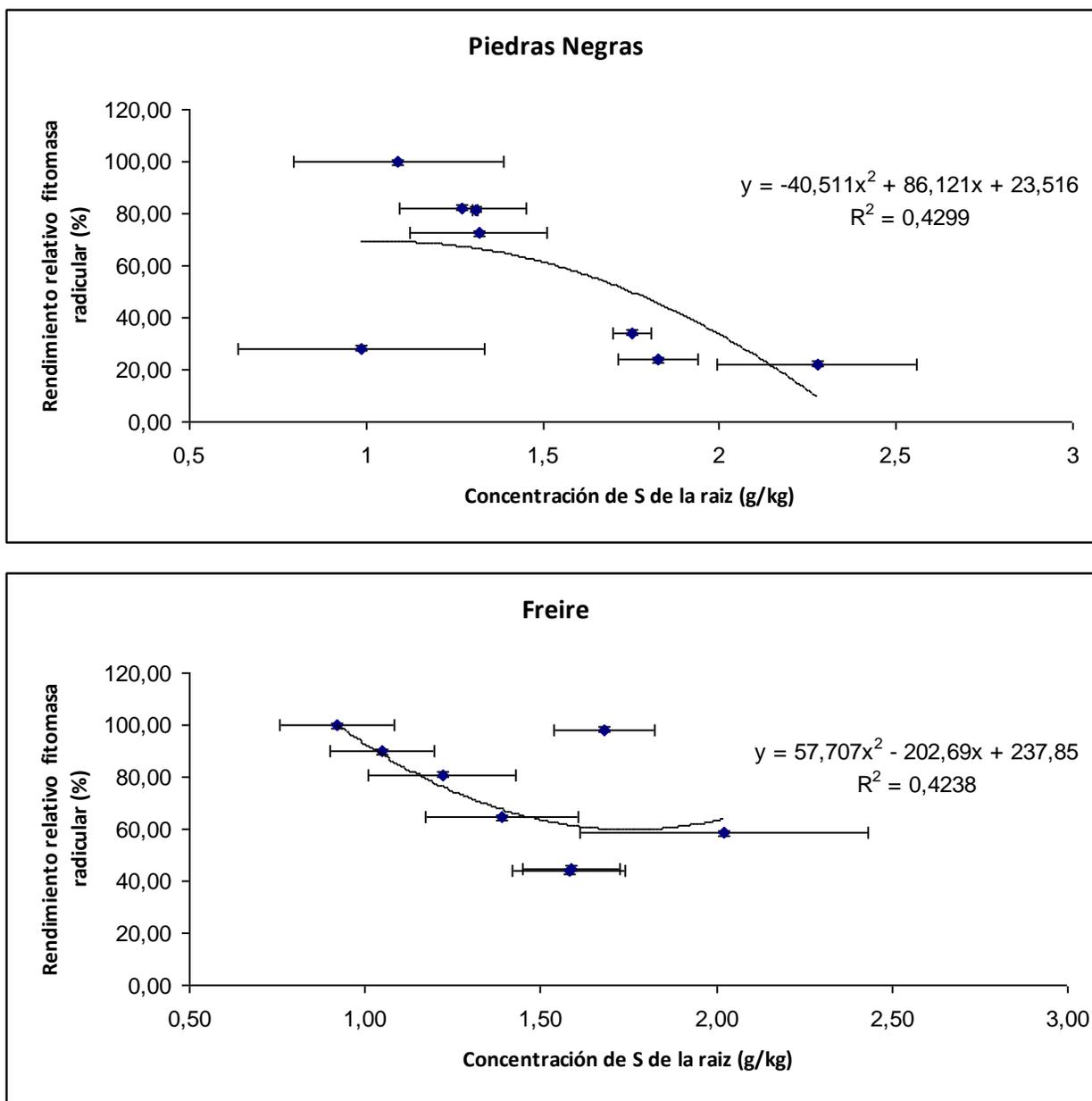


FIGURA 6. Relación entre el rendimiento relativo de la fitomasa radicular de *Lolium perenne* L. y la concentración de S de la raíz a diferentes niveles de S y P en los suelos de Piedras Negras y Freire.

En la figura 6, se muestra una correlación positiva en ambos suelos, con un $R^2 = 0,43$ para suelo Piedras Negras y un $R^2 = 42$ para suelo Freire, lo cual indica una menor incidencia del S-raíz en la generación de fitomasa radicular en el suelo Piedras Negras sobre el suelo Freire.

4.5 Contenido fósforo de la raíz

En el cuadro 11; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el contenido de P-raíz (g/kg) de la fitomasa radical en los dos Andisoles.

CUADRO 11. Contenido de fósforo (g/kg ms) en la raíz de *Lolium perenne* L., según tratamiento S/P.

Piedras Negras	S (mg/kg)				
	P (mg/kg)	0	100	200	400
	0	1,34 cd	1,40 bc	1,39 bc	1,47 ab
150	1,54 a	1,37 bc	1,23 d	1,52 a	

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

Freire	S (mg/kg)				
	P (mg/kg)	0	100	200	400
	0	1,73 bc	1,45 e	1,54de	1,68 cd
150	1,89 ab	1,91 a	1,66 cd	1,60 cde	

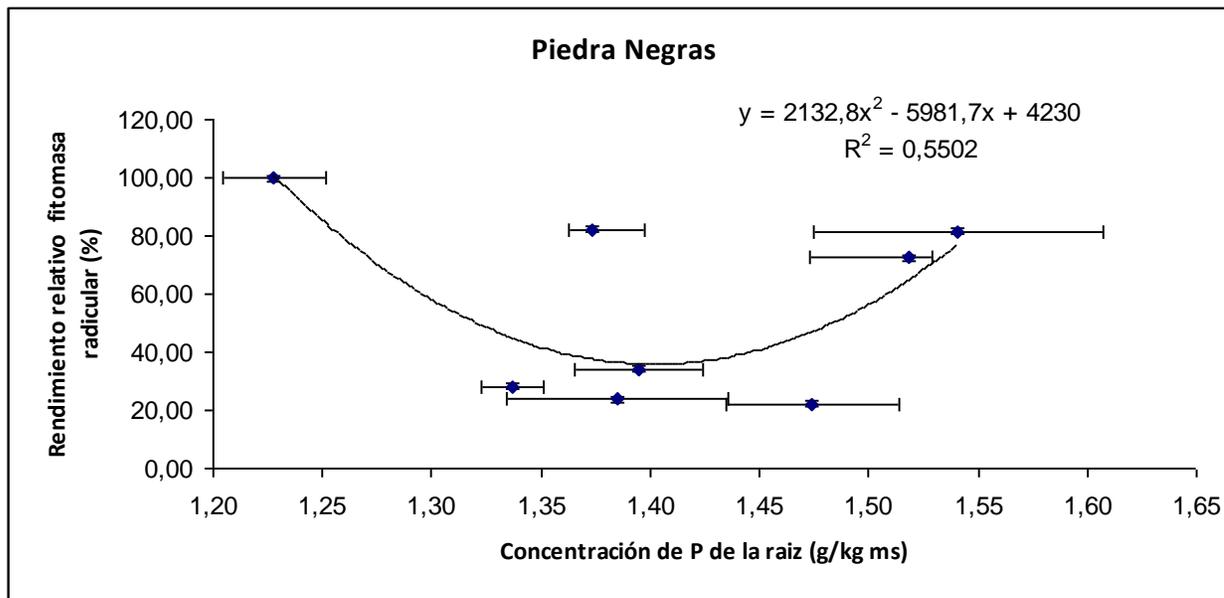
Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

El tratamiento con mayor contenido de fósforo en la raíz correspondió al tratamiento 150P/100S de la Serie Freire con 1,91 g/kg de de P y el menor 1,23 g/kg de P con el tratamiento 150P/200S perteneciente a la Serie Piedras Negras.

Respecto a la aplicación individual de fósforo hubo un aumento en el contenido de fósforo radicular con respecto al testigo en ambas Series de suelo.

En el suelo Piedras Negras presento un efecto positivo con aplicaciones individuales de S es sus tres niveles de fertilización con respecto al testigo. En cambio en el suelo Freire las aplicaciones individuales de S presentaron un efecto negativo en la retención de fósforo en la raíz con respecto al testigo

La interacción SxP en la Serie Piedras Negras no presento un efecto positivo en la acumulación de fósforo radicular comparado con los tratamientos con aplicaciones de S y sin P. Con respecto a la Serie Freire hubo una ganancia en el contenido de fósforo en la raíz en el tratamiento 150P/100S comparado con la aplicación de P y sin S pero en cambio los tratamientos 150P/200S y 150P/400S fueron inferiores con respecto a los tratamientos sin P.



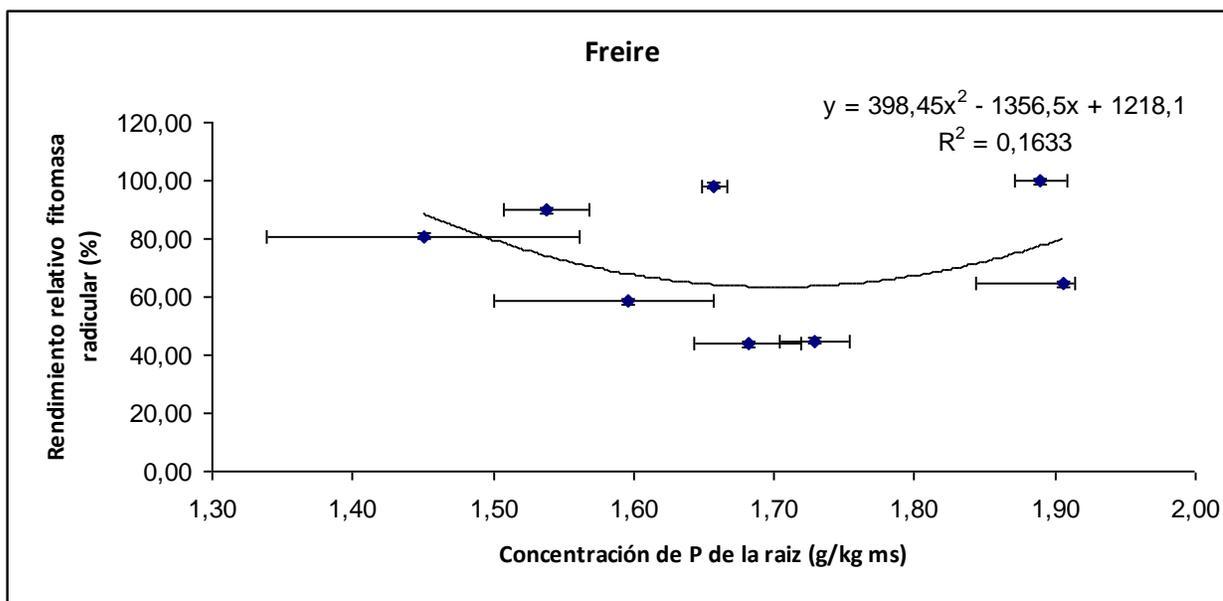


FIGURA 7. Relación entre el rendimiento relativo de la fitomasa radicular de *de Lolium perenne* L. y la concentración de P de la raíz a diferentes niveles de S y P en los suelos Piedras Negras y Freire.

En la figura 7, se puede observar una gran diferencia entre los dos suelos en la participación de la concentración de P en la raíz sobre el rendimiento de fitomasa radical, ya que en el suelo Piedras Negra existe un alta correlación con un $R^2 = 0,55$, en cambio el suelo Freire presenta un $R^2 = 0,16$, La alta correlación del suelo Piedras Negras sobre el suelo Freire, se puede deber a que existen mayores factores influyendo en la absorción de P, como son el bajo pH y el alto contenido de Al (Mora *et al.*, 2005).

4.6 Fitomasa de la raíz

En el cuadro 12; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el rendimiento radical en los dos Andisoles.

CUADRO 12. Rendimiento de fitomasa radical de *Lolium perenne* L. (g ms/maceta), según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	0,44 c	0,53 bc	0,37 c	0,35 c
	150	1,26 a	1,28 a	1,56 a	1,13 ab

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	0,38 b	0,68 ab	0,76 ab	0,37 b
	150	0,85 a	0,55 ab	0,83 a	0,50 ab

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

La fertilización fosfatada en Serie Piedras Negras presento un efecto más alto en el rendimiento de fitomasa radicular con respecto a la Serie Freire, esto puede ser debido al bajo fósforo disponible (Cuadro 3, anexo 41) que presentaba el suelo Piedras Negras, no así el suelo Freire.

Hubo un efecto positivo en la generación de fitomasa radicular con la aplicación individual de fósforo sobre el testigo en ambos suelos.

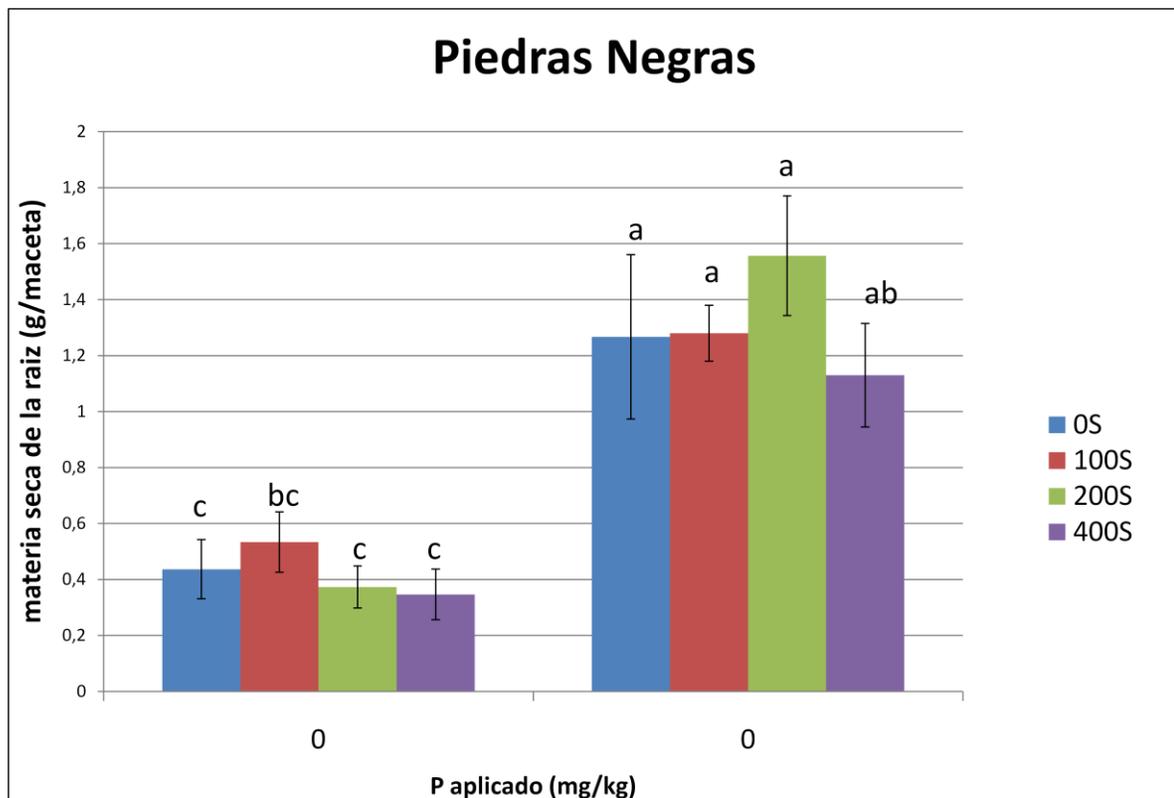
En la Serie Piedras Negras aplicaciones individuales de S presentaron diferencias significativas solo en el tratamiento 0P/100S con respecto al testigo. En Serie Freire aplicaciones individuales de S hubo un aumento en el rendimiento de la fitomasa radicular en los tratamientos 0P/100S y 0P/200S, La aplicación máxima de S (400S) no experimentó diferencias significativas con respecto al testigo.

Se presentó un efecto antagonista en la generación de fitomasa radical en el suelo Freire con la máxima dosis de individual de S (400S) con respecto a los tratamientos 100S y 200S, estos datos concuerdan con los datos presentados por Mora *et al.* (2005), donde con ballicas presentó un efecto negativo en la generación de fitomasa radical con dosis crecientes de S.

En ambos suelos la interacción SxP presentó un efecto positivo en comparación con el testigo. La interacción SxP en Serie Piedras Negras no presentó diferencias significativas con respecto al testigo entre los tratamientos 150P/100S y 150P/200S, pero sí con la máxima dosis de 400S, donde el rendimiento fue levemente menor. En la Serie Freire no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos con las dosis mínima de S 100S (150P/100S) y la dosis máxima 400S (150P/400S), pero sí hubo diferencias con el tratamiento 150P/200S donde este fue levemente mayor con respecto a los otros dos niveles.

La Serie Piedras Negras presentó un aumento en la generación de fitomasa radical con respecto a Serie Freire, esto se puede deber, según Osaki (1997) determinó un efecto benéfico del Al en la generación de fitomasa radical, donde en cebada dentro de otros cultivos demostró que con un mayor porcentaje de Al, aumenta el rendimiento de la fitomasa radical. En el mismo experimento Osaki (1997), determinó que el pH modifica en diversos cultivos el crecimiento relativo de la proporción tallo, hoja y raíz, donde en cebada con un pH 4,5 se obtuvo un mayor rendimiento de fitomasa total y una mayor proporción de raíz con respecto a un pH de 5, comportándose de manera similar ya que en Serie Piedras Negras y Freire los valores de pH

(cuadro 3) eran 4,36 y 5,38, respectivamente. Sin embargo estos datos discrepan con los estudios publicados por Mora *et al.* (2005) donde en ballica encontró una mejor respuesta en la generación de fitomasa con un pH 5 con respecto a pH 4 y 5,5, también encontró un efecto antagonista de aluminio en la generación de fitomasa radical.



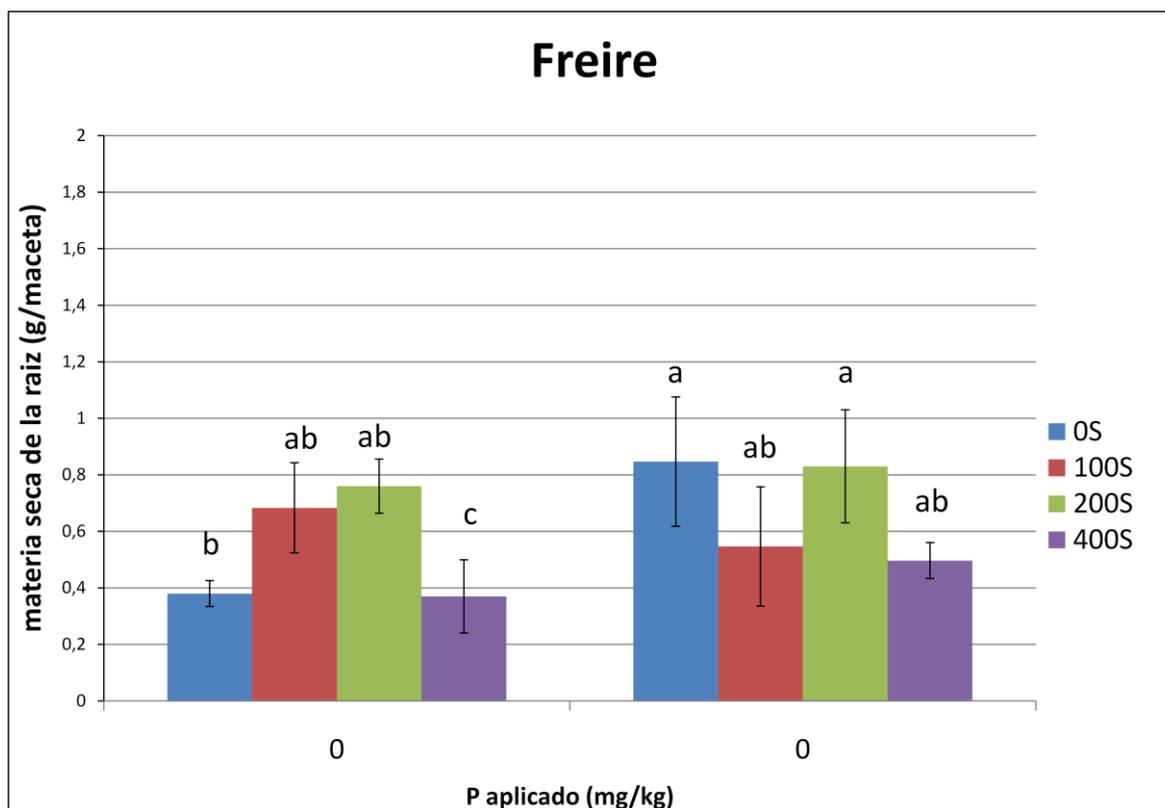


FIGURA 8. . Producción de fitomasa radical de *Lolium perenne* L. a diferentes niveles de S y P, en Andisol Serie Piedras Negras y Freire.

En la figura 8, se observa una respuesta positiva en la generación de fitomasa radical con aplicaciones de P, reafirmando lo anterior Opazo *et al.* (2000), indica que, en trébol subterráneo con fertilización sin P disminuyo notoriamente el rendimiento en la raíz.

4.7 Fósforo disponible en el suelo

En el cuadro 14; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el contenido de P disponible en el suelo después del ensayo en los dos Andisoles. Los mayores contenidos de P disponible, se consiguieron con la aplicación de P (150P), el cual fue con el tratamiento 150/200S con 17,67 (mg/kg) en suelo Piedras Negras y 150/0S con 28 (mg/kg) para el suelo Freire.

CUADRO 13. Contenido de fósforo disponible (mg/kg) en el Andisol Serie Piedras Negras y Freire, según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	6 c	5,67 c	5,33 c	5 c
	150	17 ab	15,33 ab	17,67 a	12,67 b

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	17,33 b	17,67 b	17,33 b	16,33 b
	150	28 a	27,67 a	27,33 a	24 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

Se observa diferencias en la disponibilidad de fósforo en los dos Andisoles. Esto datos concuerdan con estudios realizados por Alfaro y Opazo (1996), donde analizaron 4 series de Andisoles y demostraron que presentan una gran variabilidad en la disponibilidad de fósforo.

Como era de esperar hubo un aumento en la disponibilidad de P con la aplicación de P en ambos suelos. La disponibilidad más alta se consiguió en el suelo Freire sobre Piedras Negras, esto se puede deber a que el suelo Freire ya presentaba un alto P Olsen (cuadro 3, anexo) y también se pudo ver afectado por el pH, ya que el rango optimo de pH del suelo se encuentra entre 6,5 y 7,5, las causas de este comportamiento se asocian fundamentalmente a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas inorgánicas del suelo (Rojas,) por lo tanto Freire se acerca más a este rango que Piedras Negras.

Se experimentaron diferencias en el comportamiento del suelo Piedras Negras con respecto al suelo Freire, donde el suelo Piedras Negras presento diferencias significativas en su combinación SxP, en cambio Freire no presento diferencias.

En ambos suelos se presento un efecto antagonista entre la aplicación de P con la dosis más alta de S (400S), siendo mayor este efecto en suelo Piedras Negras. Esto se puede deber al alto grado de competencia entre el sulfato y fosfato, en la adsorción por parte del suelo (Pigna *et al.*, 2007), este efecto también se puede ver con la nula aplicación de P, donde en ambos suelos a niveles crecientes de S el P disponible disminuyo, con excepción del tratamiento (0P/100S) en suelo Freire donde aumento levemente el contenido de P disponible.

4.8 Azufre disponible en el suelo

En el cuadro 14; anexo, se presenta el efecto de las diferentes combinaciones S/P sobre el contenido de S disponible en el suelo después del ensayo en los dos Andisoles.

CUADRO 14. Contenido de azufre disponible (mg/kg) en el Andisol serie Piedras Negras y Freire, según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	3,33 d	19,67 c	37,33 b	70,33 a
	150	3,67d	23,33 c	45,67 b	80, 33a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	19 e	35 d	58,33 b	85 a
	150	20,67 e	45,33 c	65 b	92,67 a

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

Como era de esperar en ambos suelos hubo un aumento en el contenido de azufre disponible a mayores dosis de S, alcanzando la mayor concentración con las dosis más altas de S (400S), con un 70,33 y 85 mg/kg de S en suelo Piedras Negras y Freire, respectivamente. Sin embargo los máximos niveles de disponibilidad de S, se consiguieron con la interacción con el P, pero cabe

recalcar que no fueron significativos en comparación a la fertilización individual de S sin P, solo en el tratamiento 150P/100S en el suelo Freire hubo diferencias en comparación al tratamiento sin P (0P/150P). Esto se puede deber a la que la adsorción de sulfato está regulada por muchos factores, como el contenido de materia orgánica, pH, composición mineralógica de los suelos y el orden de adición de sulfato y fosfato en los suelos (Pigna *et al.*, 2007).

La disponibilidad más alta de S en ambos suelos fue logrado con la dosis (150P/400S) con valores de 80,33 y 92,67 mg/kg de S, para suelo Piedras Negras y suelo Freire, respectivamente. Esto puede ser explicado debido a la competencia que existe entre el sulfato (SO_4^{-2}) con el fosfato (PO_4^{-3}) en la adsorción por parte del suelo, y donde la adsorción del sulfato se ve impedida con fuerza por el fosfato (Pigna *et al.*, 2007) y por lo tanto causa una desorción de sulfato (Jara *et al.*, 2005). En consecuencia aumenta la disponibilidad de SO_4^{-2} en el suelo (Bolan *et al.*, 1988). Se aumento levemente la concentración de S con la aplicación de fósforo (150P/0S) en ambos suelos sobre el testigo, pero no fueron estadísticamente significativo.

4.9 El azufre contenido en la solución rizósferica.

En la figura 9 y 10 se ve el efecto de las distintas combinaciones S y P sobre el contenido de S en la solución rizósferica de los suelos Piedras Negras y Freire.

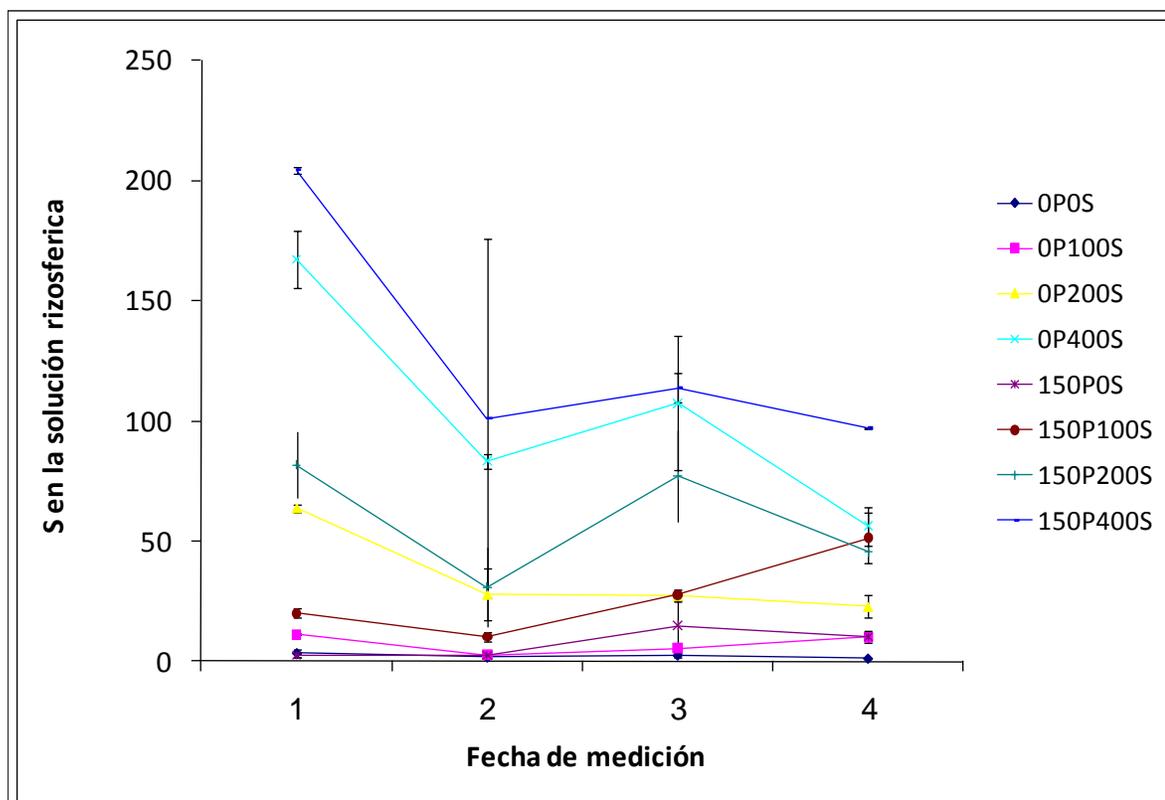


Figura 9. S (mg/kg) contenido en la solución rizósferica durante 4 fechas de medición en Andisol Piedras Negras diferentes dosis de P y S (mg/kg).

Como era de esperar en el testigo no hubo variación en el contenido de S en la solución con respecto al tiempo. En el tratamiento 150P/100S se evidencio un aumento en la disponibilidad de S en la solución del suelo, lo cual puede explicarse a la aplicación del P, el cual compite con el S en los sitios de adsorción del suelo (Pigna *et al.*, 2007). Este efecto también queda demostrado pero más levemente en el tratamiento 150P/0S.

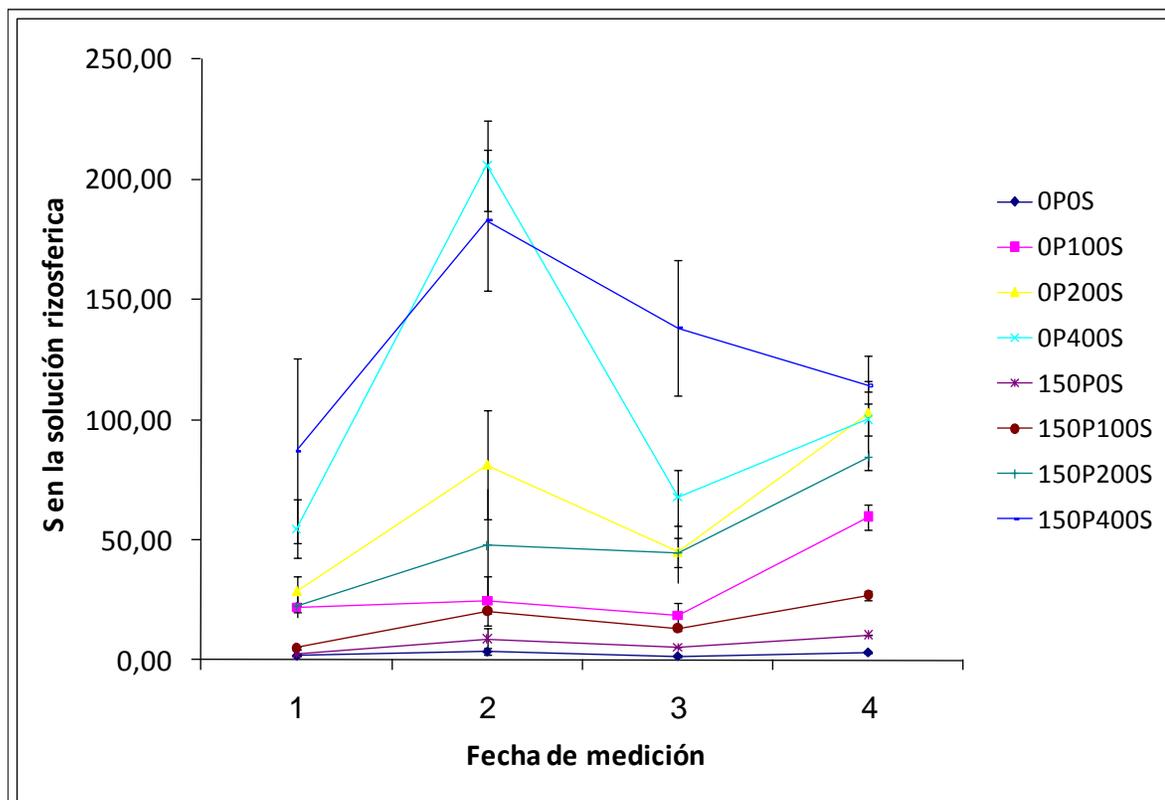


Figura 10. S (mg/kg) contenido en la solución rizósferica durante 4 fechas de medición en Andisol Serie Freire a diferentes dosis de P y S (mg/kg).

Se observa en la figura 9 y 10, en la primera dos fechas de muestreo un efecto inversamente proporcional en el contenido de S en la solución, el cual comienza con un alto contenido en suelo Piedras Negras y en el segundo muestreo disminuye, lo contrario ocurre en el suelo Freire. En los dos suelos se ve una respuesta a la aplicación de S y P, con la excepción del testigo, esto se puede deber a los factores que afectan la mineralización y adsorción de S, con respecto a la mineralización Dick y Deng (1991), sugiere que los más importantes son la humedad, temperatura, materia orgánica, tipo de suelo y tamaño de la partícula de azufre. También influye la adsorción, la cual la materia orgánica también puede adsorber SO_4^{-2} ; sin embargo, la adsorción se realiza a través de los óxidos hidratados de Fe y Al, unidos al humus (Sadzawka 1999). Esto significa que la materia orgánica juega un doble papel en relación al S. Por una parte, su mineralización libera S al medio y, por otra, inmoviliza parte del S liberado por adsorción y por incorporación en la biomasa (Sadzawka, 1999). La adsorción de SO_4^{-2} es fuertemente

dependiente del pH. Otro factor que también pudo influenciar en la variabilidad del S disponible en la solución, es el pH ya que con el aumento del pH de 4 a 7 disminuye la cantidad adsorbida (Sadzawka 1999).

4.9.1 pH de la solución rizósferica.

En la figura 11 y 12 se observa que el testigo (0P/0S) en ambos suelos, presento una tendencia a la baja en el pH (acido) de la solución en el transcurso del tiempo, esto puede ser debido a la exudación de ácidos orgánicos por parte de las raíces, lo cual acidifican la rizosfera (Hinsinger, 2001), ya que al haber menos P disponible, las plantas exudan más ácidos orgánicos (Rosas *et al.*, 2011; Marschner *et al.*, 1987).

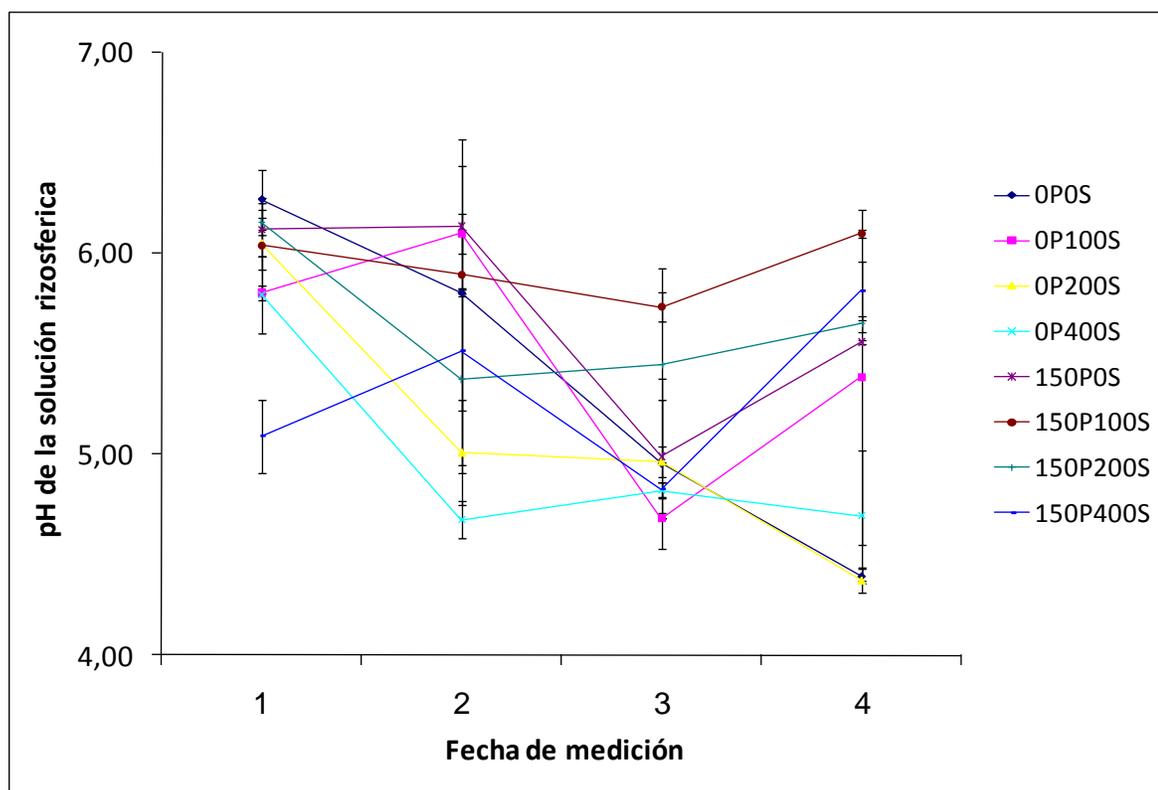


Figura 11. pH de la solución rizósferica durante 4 fechas de medición en Andisol Serie Piedras Negras a diferentes dosis de P y S (mg/kg).

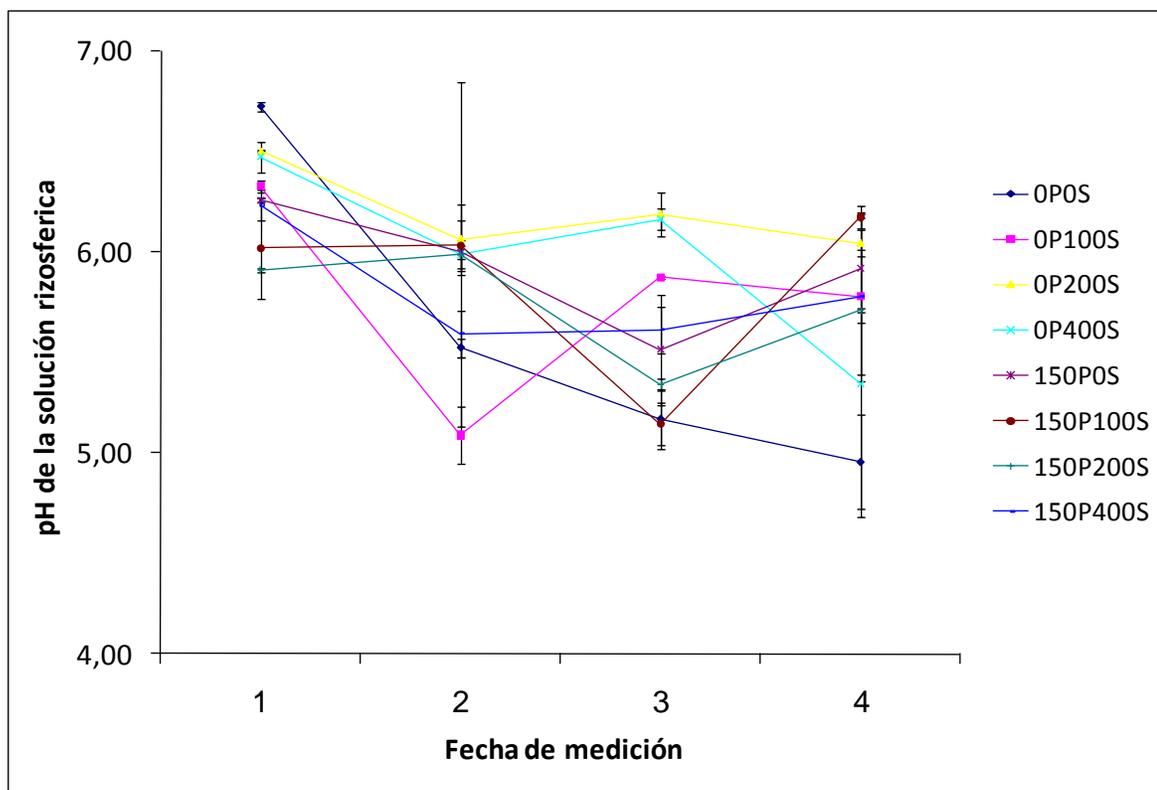


Figura 12. pH de la solución rizósferica durante 4 fechas de medición en Andisol Serie Freire a diferentes dosis de P y S (mg/kg).

En ambos suelos con aplicaciones de P, se observó una tendencia a un pH más básico en la última fecha de muestreo. Esto se puede explicar debido al efecto basicificante del SFT

En ambos suelos con aplicaciones individuales de S, se observó en la última fecha de muestreo una tendencia a un pH más ácido, con la excepción del tratamiento 0P/100S del suelo Piedras Negras.

4.9 pH del suelo.

En el cuadro 15, anexo 54 y 56, se muestra el efecto de las diferentes combinaciones de S/P sobre el pH del suelo en los suelos Piedras Negras y Freire.

CUADRO 15. pH en los Andisoles Series Piedras Negras y Freire, según tratamiento S/P.

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Piedras Negras	0	4,61 c	4,66 c	4,65 c	4,72 b
	150	4,72 b	4,76 ab	4,8 a	4,77 ab

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

	P (mg/kg)	S (mg/kg)			
		0	100	200	400
Freire	0	5,6 ab	5,62 ab	5,57 ab	5,49 b
	150	5,69 a	5,64 ab	5,56 ab	5,49 b

Medias seguidas por igual letra son estadísticamente iguales al 5%, según prueba de rango múltiple de Tukey

La aplicación individual de P se incremento levemente el pH con respecto al testigo, esto resultados concuerdan con los obtenidos por Sepúlveda *et al.*, (1997), en ballica y con aplicación de SFT encontró un aumento del pH del suelo en sus diferentes niveles de fertilización P. Este

hecho significa que la adsorción de aniones de H_3PO_4^- , por los componentes alofanicos u orgánicos del suelo, libera OH la medio (Bodwen *et al.*, 1980a)

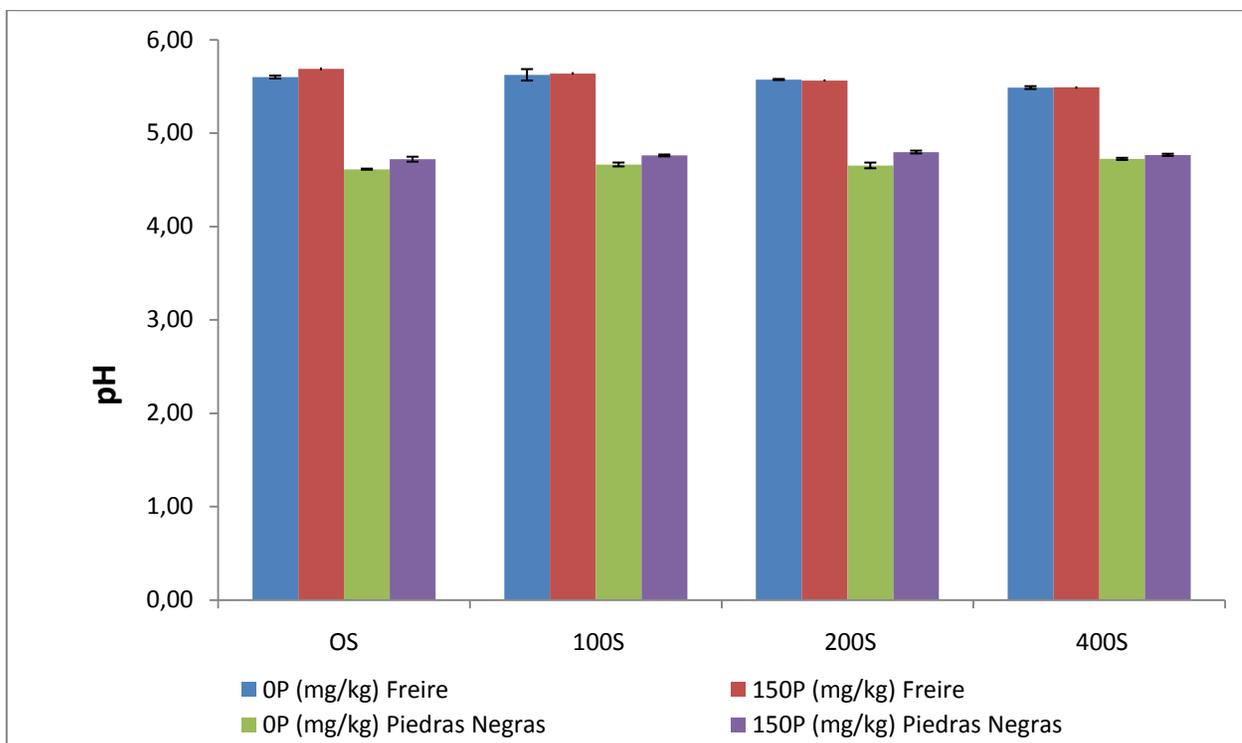


Figura 13. pH del suelo en Piedras Negras y Freire a diferentes dosis de P y S (mg/kg).

En la figura 13, anexo 41 y 42, se observa el efecto de las diferentes combinaciones de S/P sobre el pH del suelo, donde se observa una baja variabilidad del pH durante el ensayo. Se demuestra claramente las diferencias de pH entre los dos suelos, donde el pH de Piedras Negras siempre fue menor en el suelo Freire.

5. CONCLUSIONES

- El estudio mostró una interacción significativa S*P sobre la producción de fitomasa acumulada sólo para el suelo Piedras Negras.
- La mayor producción de fitomasa se alcanzó con la relación S*P 150/200S en ambos suelos. En Piedras Negras con 3,21 g ms/maceta y Freire con 2,55 g ms/maceta.
- Existieron diferencias significativas en el rendimiento de fitomasa acumulada entre los dos Andisoles a las mismas dosis de fertilización S y P.
- El suelo Piedras Negras mostró una alta respuesta a la fertilización fosfatada en el rendimiento de fitomasa.
- Se evidenció una interacción significativa entre el S*P en los cambios del pH del suelo para ambos suelos estudiados.

6. RESUMEN

La producción de forraje demanda altos niveles de nutrientes del suelo, debido a esto se ha experimentado una progresiva deficiencia de azufre, en los Andisoles de la zona sur. Con respecto al fósforo sigue siendo aún el nutriente más deficitario para una adecuada productividad de los cultivos y de las praderas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene la fertilización azufrada y fosfatada sobre la producción y calidad de la fitomasa de Ballica (*Lolium perenne*), bajo condiciones de invernadero. El ensayo se realizó en macetas utilizando dos Andisoles (Series Piedras Negras y Freire) por un período de 60 días, para lo cual se sembraron ballicas (*Lolium perenne* L.) cultivar Nui. Se utilizó un diseño factorial (2 x 4 x 3) completamente al azar, con dos niveles de fertilización fosfatada (0 y 150 mg P kg⁻¹ suelo) como super fosfato triple, cuatro niveles de azufre (0, 100, 200, 400 mg S kg⁻¹ suelo), como sulfato de calcio. El control de malezas fue de forma manual. Se realizaron dos cortes a cada maceta. Se determinó el peso seco de cada muestra foliar y radicular, secando las muestras en un horno de ventilación forzada por 48 hrs a una temperatura de 65°C. Después de secadas las muestras se pesaron y luego se molieron para determinar la cantidad de materia seca de ballica por maceta. Adicionalmente, se determinó el pH y S en la solución rizosférica, la cual fue extraída desde cada maceta mediante el uso de rizones a intervalos de 5 días. Como resultados preliminares, la serie piedras negras presentó en la dosis 150 mg P / 200 mg S kg⁻¹ el mayor rendimiento con un peso seco foliar de 2,17grs, el testigo de esta misma serie presentó el menor rendimiento con un peso seco foliar de 0,55grs. En suelo serie Freire los pesos secos foliares máximo y mínimo fueron los siguientes 1,18grs con dosis 0 mg P / 400 mg S y 1,87grs 150P200S respectivamente. El mayor contenido de azufre foliar se dio con la fertilización 0 mg P / 400 mg S en suelo serie piedras negras con un valor de 3,8 g/kg y el mayor contenido de fósforo se dio con la fertilización 150 mg P / 400 mg S serie Freire con un valor de 2,8 gr/kg.

7. SUMMARY

Forage production demands high levels of soil nutrients, because of this there has been a progressive deficiency of sulfur in soils andisols the south from Chile. Respect to phosphorus is still the most deficient nutrient for higher yield of crops and pastures.

The objective of this study was to determine the effect of sulfur and phosphorus fertilization on yield and quality of the biomass of *Lolium perenne* under greenhouse conditions.

The trial was conducted in pots using two Andisols (Piedras Negras and Freire series) for a period of 60 days. *Lolium perenne* was seeded cultivar Nui and used a factorial design (2 x 4 x 3) completely random with two levels of fertilization (0 and 150 mg P kg⁻¹ soil, and four levels of sulfur (0, 100, 200, 400 mg S kg⁻¹ soil).

By two cuts in each pot was determined leaf dry weight and the concentration of sulfur and phosphorus. The samples were dried in an oven with forced ventilation for 48 hours at a temperature of 65 ° C. After were weighed and grinded to determine the amount of *Lolium perenne* dry matter per pot.

As preliminary results in treating 150 mg P/200 mg S kg⁻¹ for Piedras Negras soil series is the highest yield of phytomatter with a dry weight of 2.17 g, the witness had the lowest yield with a weight 0.55 g dry. In Freire series soil leaf dry weight were maximum and minimum: 1.18 g treatment 0 mg P/400 mg S and 1.87 g 150P/200S, respectively.

The higher sulfur foliar was in the treatment 0 mg P/400 mg S in Piedras Negras soil series with a value of 3,8 g/kg and the highest content of phosphorus fertilization was given with 150 mg P/400 mg S in Freire soil series, with a value of 2.8 g / kg.

Dry matter production of *Lolium perenne* is positively affected by the availability of phosphorus in the soil. The concentration of sulfur in the soil has less relevance in the biomass generation with respect to phosphorus.

8. LITERATURA CITADA

Aguilera, M., Mora, M.L., Borie, G., Peirano, P. y. Zunino, H. 2002. Balance and distribution of sulphur in volcanic ash-derived soils in Chile. *Soil Biol. Biochem* 34:1355-1362.

Alfaro, M; Bernier, R., y Iraira, S. Efecto de Fuentes de Azufre Sobre el Rendimiento y Calidad de Trigo y Pradera en Dos Andisoles. *Agric. Téc.* [online]. 2006, vol.66, n.3 [citado 2011-04-22], pp. 283-294.

Alfaro, M. 1999. Fertilización azufrada en praderas de la X Región. *Tierra Adentro* N° 26 p. 38-40.

Barber S. 1995. *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach.* J Wiley and Sons, NY.

Barrow, N. J. 1980. Differences amongst a Wide-ranging collection of soils in the Rate of reaction with phosphate. *Aust. J. Soil. Res.* 18:215-224.

Barrow, N. J. 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. *J. Soil Sci.* 34:733-750.

Bates, T.; Lynch, J. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (*Brassicaceae*) root hairs in phosphorus acquisition. *Am J Bot* 87: 964-970.

Bloem, E.M., 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften, vol. 192, 156 pp.

Bohn, H.L., Barrow, N.J., Rajan, S.S.S., Parfitt, R.L., 1986. Reactions of inorganic sulfur in soils. In: Tabatabai, M.A.(Ed.), *Sulfur in Agriculture*, Agron. Monogr, vol. 27. ASA, CSSA, and ISSA, Madison, WI, pp. 233–249.

Bolan, N.S., Syers, J.K., Tillman, R.W., Scotter, D.R., 1988. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. *J. Soil Sci.* 39, 493 – 50

Bowden JW, Nagarajah S, Barrow NJ, Posner AM, Quirk JP .1980a. Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable-charge mineral surface. *Australian Journal of Soil Research* 18, 49-60.

Brown, L., D. Scholefield, E.C. Jewkes, N. Preedy, K. Wadge, and M.R. Butler. 2000. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 135:131-138.

Campillo, R., y A. Sadzawka. 2006. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. *In* R. Campillo (ed.) Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. Serie Actas N° 38. p. 44-60. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.

Cross, A.F., and W.H. Schelesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64:197-214.

Demagnet, R. 1994. Producción de forrajes en base a ballicas. pp: 116-132. En: L. Latrille (Ed.) Producción Animal. Universidad Austral de Chile. Instituto de Producción Animal. Valdivia. Chile.

Dick, R. P., and S. Deng. 1991. Multivariate factor analysis of sulfur oxidation and rhodanese activity in soils. *Biogeochemistry* 12:87-101.

Droux M. 2004. Sulfur assimilation and the role of sulphur in plant metabolism: A survey. *Photosynthesis Research.* 79 331-348.

Eriksen, J., Murphy, M.D., Schnug, E., 1998. The soil sulphur cycle. In: Schnug, E. (Ed.), Sulphur in Agroecosystems.

Freney J R 1986 Forms and reactions of organic sulphur compounds in soils. *In* Sulphur in Agriculture. Ed. M A Tabatabai. pp 203–232. Agron. Mono. 27. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Havlin J. Beaton J. , Tisdale S. And W. Nelson 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 499p.

Haygarth, P.M., L. Hepworth, and S.C. Jarvis. 1998. Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 65-72

Hinsinger P. 2001: Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, 237: 173–19

Huxtable, R.J. 1986. Biochemistry of Sulfur. Plenum Press, New York.

Inpofos, 1999. Informaciones agronómicas del cono sur. Archivo agronómico N° 3. Requerimientos nutricionales de los cultivos N° 4. Dic. 1999

Jara, A., Violante, A., Pigna, M. Mora, M. 2006. Mutual interaction of sulfate, oxalate, citrate and phosphate on synthetic and natural allophanes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 337-346.

Jarvis S.; E. Stockdale; M. Shepherd; D. Powlson 1996 Nitrogen Mineralization in Temperate Agricultural Soils: Processes and Measurement. *Advances in Agronomy* 57:188-235.

Jarvis, S.C. 2002. Environmental impacts of cattle housing and grazing. p. 10-23. In Kaske, M., H. Scholz and M. Höltershinken (eds.). Recent developments and perspectives in bovine medicine. Keynotes lectures of the 22nd World Buiatrics Cong. (WBC), Hannover, Germany. 18-23 August. WBC, Hannover, Germany.

Kpoblekou, K y Tabatabai, M. A. 1994. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Science* 158: 442-453.

Leiva, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal cómo tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Fac. Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile. 82 p.

Lynch J.P. y Brown K. 2001. Topsoil foraging – an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*, 237 :225-23

Marschner, H.; Römheld, V. and Cakmak, I. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *J. Plant Nutr.* 10(9-16): 1175-1184.

McLaren R.G. y R.S. Swift. 1977. Changes in Soil Organic Sulphur Fractions due to the long-term cultivation of soils. *J. Soil Sci.* 28:445-453.

McGrath, S.P., Zhao, F.J., 1995. A risk assessment of sulphur deficiency in cereals using soil and atmospheric deposition data. *Soil Use Manag.* 11, 110–114.

Mengel K. y E.A. Kirkby. 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern 655p.

Mengel, K., Kirkby, E.A., 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland. Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp. 39–73.

Mengel K y Kirkby EA 2001. Principles of plant nutrition (th edition).Kluwer Academic Publ. Dordrecht, Netherlands, 849p

Miyamoto, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. p. 217-255. *In* A. Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners. Marcel Dekker, New York, USA.

Mora M. L. y Canales J. 1995. “Interactions of humic substances with allophanic compounds”. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* .26: 2805-2817.

- Mora, M., P. Cartes, R. Demanet, and I.S. Cornforth.** 2002. Effects of lime and gypsum on pasture growth and composition on an acid andisol in Chile, South America. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33:2069-2081.
- Murphy, M.D., Coulter, B.S., Noonan, D.G., Connolly, J.,** 2002. The effect of sulphur fertilisation on grass growth and animal performance. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 41, 1–15
- Nguyen, M.L., and K.M. Goh.** 1992. Nutrient cycling and losses based on a mass balance model in grazed pastures receiving long-term superphosphate applications in New Zealand. 2. Sulphur. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 119:107-122.
- Opazo, J.D.** 1982. Disponibilidad de azufre en suelos de la Región de Los Lagos. Tesis Magister Scientiae. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. 95 p.
- Oyarzun, C.**2001. Efecto de la relación azufre-fósforo en la producción y calidad de *Trifolium pratense* L. en suelos de origen volcánico del sur de Chile. Tesis de grado. Temuco. Universidad de La Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.105p.
- Peyrolongue, A.** 1984. Efectos del tamaño de granulo en la eficiencia del superfosfato triple en suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Tesis de postgrado M.sc. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 193 p.
- Pigna, M., Jara, A., Mora, M.L., Violante, A.** 2007. Effect of pH, phosphate and/or malate on sulfate sorption on Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 7(1): 62-73. Cielo
- Pinochet, D.** 1991. Caracterización nutricional de los suelos de la provincia de Valdivia. En: Acidez y encalado de los suelos de la Región de Los Lagos. Estación Experimental Remehue. Osorno. Serie Remehue N° 15, p 25-35.
- Pinochet, D.** 1996. Estrategias de fertilización fosforada en praderas. In Latrille, L. (ed). *Producción Animal.* Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Serie B – 20. Uniprint. pp: 177 – 198.
- Pinochet, D.** 1997. Estrategias de fertilización fosforadas en praderas. En: L. Latrille (eds.). *Avance en Producción Animal.* Serie B- 20. Publicación Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. 177-198
- Preedy, N., K. McTiernan, R. Matthews, L. Heathwaite, and P.M. Haygarth.** 2001. Rapid incidental phosphorus transfers from grassland. *J. Environ. Qual.* 30:2105-2112.
- Probert, M.E.,** 1980. In: Freney, J.R., Nicholson, A.J. (Eds.), *Sulfur in Australia.* Australian Academy of Science, Canberra, pp. 158–169.

- Rennenberg**, H. 1984. The fate of excess sulfur in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35:121-153.
- Rodríguez S., J.** 1990. La fertilización de los cultivos, un método racional. Depto. Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 348-358.
- Rodríguez, J.** 1992. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 362 p
- Rodríguez, J.** 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. pp. 291.
- Rodríguez, J, D. Pinochet y F. Matus.** 2001. La Fertilización de los Cultivos. Ediciones LOM, Santiago, Chile. 117 pp.
- Rosas, Anali; Rengel, Zed; Ribera, Alejandra; de La Luz Mora, Maria.** 2011. Phosphorus nutrition alleviates manganese toxicity in *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. *JOURNAL OF PLANT NUTRITION AND SOIL SCIENCE*, 174 (2): 210-219.
- Rubio G; Walk T; Ge Z; Yan X; Liao H. y Lynch J.P.** 2001. Root gravitropism and belowground competition among neighboring plants: a modeling approach. *Annals Botany*, 88, 929-940.
- Ruiz, R.** 2001. Nutrición vegetal, fertilizantes y fertilización. En: Agenda del Salitre. Sociedad Química y Minera de Chile S.A., Santiago, Chile, pp. 175-196
- Sadzawka R., A.** 1999. Manual de azufre en suelos y plantas. In: INIA-SAG. Manual de operadores del programa de recuperación de suelos degradados. Zona norte y central (Regiones I-VI). Santiago 12-15 de enero de 1999. INIA-SAG. p.: 67-81.
- Sadzawka R., y M.A. Carrasco R.**1985. Química de los suelos volcánicos. P:337-434. In J.Tosso. (ed.) Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Scherer HW.** 2001. Sulphur in crop production. *European Journal Agronomy* 14: 81-111.
- Scott, T. And M. Eagleson.** 1988. *Concise Encyclopedia of Biochemistry.* Walter de Gruyter & Co., Berlin.
- Sepulveda, G; Besoain, E. y Molina, R.** 1997. Rocas fosfóricas chilenas. II. Eficiencia agronómica y su uso como fertilizantes fosfatados en suelos volcánicos. *Agricultura Técnica (Chile)* 57 (4): 225-241

- Sharpley**, A. N. 1995. "Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus," *J. Environ. Qual.* 24, 920-926.
- Stevenson**, F.J., 1986. *Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* John Wiley & Sons, New York.
- Stevenson**, F. J. & M. A. **Cole**. 1999. *Cycles of soil.* Second Edition. John Wiley & Sons, London. 428 pp.
- Tabatabai**, M.A. (Ed.). 1986. *Sulfur in agriculture.* Agronomy N°27. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 668 p.
- Tiessen**, H, J.W.B. **Stewart** & C.V. **Cole**. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal* 48: 853-858.
- Tisdale**, S.L., W.L. **Nelson** and J.D. **Beaton**. 1990. *Soil Fertility and Fertilizers.* Macmillan Publishing Company, New York.
- Tisdale**, S.L., **Reneau**, R.B. Jr, **Platou**, J.S., 1986. Atlas of sulfur deficiency. In: Tabatabai, M.A. (Ed.) *Sulfur in Agriculture.* Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 295–322.
- Tisdale**, S.L., **Nelson**, W.L., **Beaton**, J.D., **Havlin**, U., 1993.
- Turner**, B.L., and P.M. **Haygarth**. 2000. Phosphorus forms and concentrations in leachates under four grassland soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1090-1099.
- Wainwright**, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Adv. Agron.* 37:349-396.
- Watkinson**, J.H., and M.J. **Kear**. 1996. Sulfate and mineralisable organic sulphur in pastoral soils of New Zealand. I. A quasi equilibrium between sulphate and mineralisable organic sulphur. *Aust. J. Soil Res.* 34:385-403
- Whitehead**, P. 2002. Dynamics of phosphorus accumulation under heavy organic fertiliser applications. 220 p. Ph.D. thesis, The University of Reading, Faculty of Live Sciences, Reading, UK.
- Whitelaw** , M., .2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances Agron.* 69: 99-152
- Withers**, P.J.A., and G.A. **Bailey**. 2003. Sediment and phosphorus transfer in overland flow from a maize field receiving manure. *Soil Use Manage.* 19:28-35.

Williams, P., and R.J. Haynes. 1990. Cycling of P and S through the soil-plant-animal system under intensively grazed grass-clover pastures. Volume 4. p. 276-281. *In* Transactions of the 14th International Congress of Soil Science, August 1990. International Society of Soil Science, Kyoto, Japan.

Zhao, F.J., Hawkesford, M.T., McGrath, S.P., 1999a. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30, 1–17.

Zia, M.S., M. Islam, M. Arshad, and T. Ahmed. 1999. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers with and without gypsum. *Soil Use Manage.* 15:133-135.

9. ANEXOS

ANEXO 1. Producción de fitomasa (g ms/maceta) en el primer corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	0,25	0,24	0,22	0,24
0P/100S	0,2	0,2	0,2	0,20
0P/200S	0,19	0,15	0,17	0,17
0P/400S	0,14	0,16	0,15	0,15
150P/0S	0,91	0,97	0,94	0,94
150P/100S	1,18	1,14	1,16	1,16
150P/200S	1,18	1,18	1,24	1,20
150P/400S	1,09	1,04	1,14	1,09

ANEXO 2. Producción de fitomasa (g ms/maceta) en el segundo corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	0,48	0,51	0,53	0,51
0P/100S	0,85	0,79	0,82	0,82
0P/200S	0,71	0,77	0,82	0,77
0P/400S	0,85	0,8	0,9	0,85
150P/0S	1,84	1,66	2,02	1,84
150P/100S	2,11	2,05	1,99	2,05
150P/200S	2,23	2,13	2,18	2,18
150P/400S	2,23	2,02	2,13	2,13

ANEXO 3. Producción de fitomasa acumulada (g ms/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	0,73	0,74	0,75	0,74
OP/100S	1,05	0,99	1,02	1,02
OP/200S	0,90	0,92	0,99	0,94
OP/400S	0,99	0,96	1,05	1,00
150P/OS	2,75	2,63	2,96	2,78
150P/100S	3,29	3,19	3,15	3,21
150P/200S	3,41	3,31	3,42	3,38
150P/400S	3,32	3,06	3,27	3,22

ANEXO 4. Tabla de análisis de varianza de fitomasa acumulada de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	30,376650	4,33952	569,1176	<,0001*
Error	16	0,122000	0,00763		
Total	23	30,498650			<,0001*

Coefficiente de variación (%) : 4,29%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 5. Producción de fitomasa (g ms/maceta) en el primer corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	0,29	0,31	0,32	0,31
OP/100S	0,40	0,41	0,42	0,41
OP/200S	0,48	0,45	0,46	0,46
OP/400S	0,47	0,46	0,45	0,46
150P/OS	0,75	0,74	0,75	0,75
150P/100S	0,82	0,73	0,78	0,78
150P/200S	0,79	0,64	0,72	0,72
150P/400S	0,78	0,62	0,63	0,68

ANEXO 6. Producción de fitomasa (g ms/maceta) en el segundo corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,32	1,41	1,365	1,37
OP/100S	1,53	1,32	1,425	1,43
OP/200S	1,53	1,45	1,53	1,50
OP/400S	1,31	1,12	1,215	1,22
150P/OS	1,67	1,74	1,705	1,71
150P/100S	1,74	1,7	1,72	1,72
150P/200S	1,83	1,88	1,78	1,83
150P/400S	1,63	1,67	1,65	1,65

ANEXO 7. Producción de fitomasa acumulada (g ms/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,61	1,72	1,69	1,67
OP/100S	1,93	1,73	1,85	1,84
OP/200S	2,01	1,90	1,99	1,97
OP/400S	1,78	1,58	1,67	1,68
150P/OS	2,42	2,48	2,46	2,45
150P/100S	2,56	2,43	2,50	2,50
150P/200S	2,62	2,52	2,50	2,55
150P/400S	2,41	2,29	2,28	2,33

ANEXO 8. Tabla de análisis de varianza de fitomasa acumulada de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	2,9343625	0,419195	80,9712	<,0001*
Error	16	0,0828333	0,005177		
Total	23	3,0171958	0,424372	80,9712	

Coefficiente de variación (%) : 3,39%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 9. Producción de fitomasa (g mv/maceta) en el primer corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,57	1,53	1,49	1,53
OP/100S	1,59	1,51	1,55	1,55
OP/200S	1,54	1,55	1,545	1,55
OP/400S	1,55	1,5	1,525	1,53
150P/OS	9,06	9,95	9,505	9,51
150P/100S	11,11	10,34	10,725	10,73
150P/200S	10,18	10,29	10,6	10,36
150P/400S	10,365	10,06	10,67	10,37

ANEXO 10. Producción de fitomasa (g mv/maceta) en el segundo corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	3,77	3,88	3,99	3,88
OP/100S	6,54	6,28	6,41	6,41
OP/200S	5,9	6,135	6,37	6,14
OP/400S	6,71	6,57	6,85	6,71
150P/OS	14,025	13,74	14,31	14,03
150P/100S	14,36	13,72	13,08	13,72
150P/200S	12,62	12,43	12,525	12,53
150P/400S	17,79	16,73	17,26	17,26

ANEXO 11. Producción de fitomasa acumulada (g mv/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,34	5,41	5,48	5,41
OP/100S	8,13	7,79	7,96	7,96
OP/200S	7,44	7,685	7,915	7,68
OP/400S	8,26	8,07	8,375	8,24
150P/OS	23,085	23,69	23,815	23,53
150P/100S	25,47	24,06	23,805	24,45
150P/200S	22,8	22,72	23,125	22,88
150P/400S	28,155	26,79	27,93	27,63

ANEXO 12. Producción de fitomasa (g mv/maceta) en el primer corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,95	2,625	2,3	2,63
OP/100S	3,28	3,405	3,53	3,41
OP/200S	3,85	3,46	3,63	3,65
OP/400S	4,38	4,385	4,39	4,39
150P/OS	7,58	7,57	7,59	7,58
150P/100S	8,64	8,37	8,505	8,51
150P/200S	8,29	7,07	7,68	7,68
150P/400S	8,24	6,75	6,86	7,28

ANEXO 13. Producción de fitomasa (g mv/maceta) en el segundo corte de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	12,12	13,49	12,81	12,81
OP/100S	11,49	10,4	10,95	10,95
OP/200S	12,06	12,27	12,47	12,27
OP/400S	12,12	11,32	11,72	11,72
150P/OS	15,35	15,72	15,54	15,54
150P/100S	18,47	17,54	18,01	18,01
150P/200S	17,26	17	17,51	17,26
150P/400S	15,59	16,4	16	16,00

ANEXO 14. Producción de fitomasa acumulada (g mv/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	15,07	16,12	15,11	15,43
OP/100S	14,77	13,81	14,48	14,35
OP/200S	15,91	15,73	16,1	15,91
OP/400S	16,5	15,71	16,11	16,11
150P/OS	22,93	23,29	23,13	23,12
150P/100S	27,11	25,91	26,51	26,51
150P/200S	25,55	24,07	25,19	24,94
150P/400S	23,83	23,15	22,86	23,28

ANEXO 15. Contenido de S foliar expresada en g/kg de *Lolium perenne* L. cv. Nui en suelo Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,19	2,23	2,21	2,19
OP/100S	2,66	2,70	2,68	2,66
OP/200S	1,95	2,31	2,13	1,95
OP/400S	2,79	2,55	2,67	2,79
150P/OS	2,00	2,50	2,25	2,00
150P/100S	2,65	2,40	2,53	2,65
150P/200S	2,80	2,36	2,58	2,80
150P/400S	2,93	3,16	3,05	2,93

ANEXO 16. Tabla de análisis de varianza del contenido de S foliar de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,01942433	0,002775	11,6585	0001*
Error	16	0,00380823	0,000238		
Total	23	0,02323256	0,003013	11,6585	

Coefficiente de variación (%) : 6,15%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 17. Contenido de S foliar expresada en g/kg de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,27	2,24	2,26	2,27
OP/100S	2,66	2,52	2,59	2,66
OP/200S	3,31	3,16	3,24	3,31
OP/400S	3,71	3,86	3,79	3,71
150P/OS	2,20	1,99	2,09	2,20
150P/100S	2,42	2,23	2,33	2,42
150P/200S	2,44	2,10	1,76	2,44
150P/400S	1,65	2,19	1,92	1,65

ANEXO 18. Tabla de análisis de varianza del contenido de S foliar de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,08830955	0,012616	44,228	0001*
Error	16	0,00456386	0,000285		
Total	23	0,09287341	0,012901	44,228	

Coefficiente de variación (%) : 6,65%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 19. Contenido de S de la raíz expresada en g/kg de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	0,6	1,3	1,0	1,0
OP/100S	1,7	1,7	1,8	1,8
OP/200S	1,8	1,9	1,7	1,8
OP/400S	2,6	2,2	2,0	2,3
150P/OS	1,3	1,3	1,3	1,3
150P/100S	1,1	1,3	1,5	1,3
150P/200S	1,4	0,9	1,0	1,1
150P/400S	1,1	1,5	1,4	1,3

ANEXO 20. Tabla de análisis de varianza del contenido de S en la raíz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,03966172	0,005666	12,0712	0001*
Error	16	0,00751003	0,000469		
Total	23	0,04717175	0,006135	12,0712	

Coefficiente de variación (%) : 14,65%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 21. Contenido de S de la raíz expresada en g/kg de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,5	1,5	1,7	1,6
OP/100S	1,1	1,1	1,5	1,2
OP/200S	1,1	1,2	0,9	1,0
OP/400S	1,7	1,4	1,6	1,6
150P/OS	0,8	0,9	1,1	0,9
150P/100S	1,1	1,5	1,6	1,4
150P/200S	1,8	1,7	1,5	1,7
150P/400S	1,6	2,4	2,1	2,0

ANEXO 22. Tabla de análisis de varianza del contenido de S en la raíz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,02739337	0,003913	8,3649	0,0002*
Error	16	0,00748524	0,000468		
Total	23	0,03487861	0,004381	8,3649	

Coefficiente de variación (%): 15,11%

Nivel de significancia : 0,05

ANEXO 23. Contenido de P foliar (g/kg) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,19	1,19	1,19	1,19
OP/100S	1,19	1,22	1,24	1,22
OP/200S	1,48	1,48	1,48	1,48
OP/400S	1,60	1,62	1,63	1,62
150P/OS	1,41	1,37	1,32	1,37
150P/100S	1,51	1,54	1,49	1,51
150P/200S	1,38	1,34	1,30	1,34
150P/400S	1,48	1,51	1,46	1,48

ANEXO 24. Tabla de análisis de varianza del contenido de P foliar de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,46142578	0,065918	23,4783	<,0001*
Error	16	0,04492187	0,002808		
Total	23	0,50634765	0,068726	23,4783	

Coefficiente de variación (%) : 3,82

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 25. Contenido de P foliar (g/kg) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,62	2,51	2,74	2,62
OP/100S	2,13	2,20	2,27	2,20
OP/200S	2,07	2,12	2,18	2,12
OP/400S	2,51	2,58	2,66	2,58
150P/OS	2,69	2,62	2,54	2,62
150P/100S	2,44	2,94	2,69	2,69
150P/200S	2,85	2,69	2,77	2,77
150P/400S	2,57	3,04	2,80	2,80

ANEXO 26. Tabla de análisis de varianza del contenido de P foliar de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	1,171051	0,167293	5,1667	0,0031*
Error	16	0,5180664	0,032379		
Total	23	1,6891174	0,199672	5,1667	

Coefficiente de variación (%) : 6,98%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 27. Contenido de P de la raíz (g/kg) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,35	1,32	1,34	1,34
OP/100S	1,42	1,36	1,40	1,39
OP/200S	1,33	1,39	1,43	1,38
OP/400S	1,43	1,47	1,51	1,47
150P/OS	1,61	1,54	1,47	1,54
150P/100S	1,36	1,38	1,37	1,37
150P/200S	1,25	1,23	1,20	1,23
150P/400S	1,52	1,56	1,47	1,52

ANEXO 28. Tabla de análisis de varianza del contenido de P en la raíz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,19951585	0,028502	6,0174	0,0015*
Error	16	0,07578572	0,004737		
Total	23	0,27530157	0,033239	6,0174	

Coefficiente de variación (%) : 4,94%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 29. Contenido de P raíz (g/kg) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,73	1,70	1,75	1,73
OP/100S	1,34	1,45	1,56	1,45
OP/200S	1,54	1,57	1,51	1,54
OP/400S	1,68	1,64	1,72	1,68
150P/OS	1,89	1,91	1,87	1,89
150P/100S	1,91	1,97	1,84	1,91
150P/200S	1,67	1,66	1,65	1,66
150P/400S	1,69	1,60	1,50	1,60

ANEXO 30. Tabla de análisis de varianza del contenido de P en la raíz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,43789721	0,062557	4,2735	0,0077*
Error	16	0,23421019	0,014638		
Total	23	0,6721074	0,077195	4,2735	

Coefficiente de variación (%) : 7,22%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 31. Fitomasa de la raíz (g ms/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	0,34	0,42	0,55	0,44
0P/100S	0,41	0,61	0,58	0,53
0P/200S	0,37	0,3	0,45	0,37
0P/400S	0,28	0,31	0,45	0,35
150P/0S	1,05	1,87	0,88	1,27
150P/100S	1,18	1,28	1,38	1,28
150P/200S	1,31	1,69	1,67	1,56
150P/400S	1,2	0,92	1,27	1,13

ANEXO 32. Tabla de análisis de varianza. Fitomasa Raiz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	5,0581958	0,722599	14,2034	<,0001*
Error	16	0,814	0,050875		
Total	23	5,8721958	0,773474		<,0001*

Coefficiente de variación (%) : %

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 33. Fitomasa de la raíz (g ms/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	0,42	0,33	0,39	0,38
OP/100S	0,86	0,64	0,55	0,68
OP/200S	0,81	0,65	0,82	0,76
OP/400S	0,37	0,5	0,24	0,37
150P/OS	1,11	0,73	0,7	0,85
150P/100S	0,79	0,44	0,41	0,55
150P/200S	1,06	0,7	0,73	0,83
150P/400S	0,57	0,46	0,46	0,50

ANEXO 34. Tabla de análisis de varianza. Fitomasa Raiz de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,7785167	0,111217	4,5784	0,0056*
Error	16	0,3886667	0,024292		
Total	23	1,1671833	0,135509		0,0056*

Coefficiente de variación (%) : %

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 35. Fitomasa de la raíz (g mv/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,97	3,36	3,73	3,35
OP/100S	2,67	4,24	4,09	3,67
OP/200S	2,29	2,09	2,63	2,34
OP/400S	1,85	1,73	2,69	2,09
150P/OS	6,05	7,88	7,41	7,11
150P/100S	7,15	9,05	9,11	8,44
150P/200S	7,14	9,63	5,78	7,52
150P/400S	7,71	5,67	6,64	6,67

ANEXO 36. Fitomasa de la raíz (g mv/maceta) de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	4,40	2,85	3,90	3,72
OP/100S	6,07	6,22	4,94	5,74
OP/200S	6,88	5,95	7,17	6,67
OP/400S	5,12	2,45	3,62	3,73
150P/OS	9,56	6,33	5,51	7,13
150P/100S	6,80	4,78	3,94	5,17
150P/200S	9,62	6,45	5,64	7,24
150P/400S	5,15	4,10	3,89	4,38

ANEXO 37. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras 1.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	6,12	6,42	6,27	6,27
OP/100S	5,77	5,84	5,81	5,81
OP/200S	6,18	5,92	6,05	6,05
OP/400S	5,6	5,99	5,80	5,80
150P/OS	6,25	5,99	6,12	6,12
150P/100S	6,28	5,8	6,04	6,04
150P/200S	6,22	6,09	6,16	6,16
150P/400S	4,91	5,27	5,09	5,09

ANEXO 38. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras 2.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,82	5,79	5,81	5,81
OP/100S	6,20	6,00	6,10	6,10
OP/200S	5,27	4,75	5,01	5,01
OP/400S	4,77	4,58	4,68	4,68
150P/OS	5,83	6,44	6,14	6,14
150P/100S	6,57	5,22	5,90	5,90
150P/200S	5,80	4,95	5,38	5,38
150P/400S	6,12	4,91	5,52	5,52

ANEXO 39. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras 3.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	5,38	4,53	4,96	4,96
0P/100S	4,68	4,68	4,68	4,68
0P/200S	5,04	4,89	4,97	4,97
0P/400S	4,78	4,86	4,82	4,82
150P/0S	5,27	4,71	4,99	4,99
150P/100S	5,66	5,81	5,74	5,74
150P/200S	5,93	4,96	5,45	5,45
150P/400S	4,79	4,86	4,83	4,83

ANEXO 40. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras 4.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	4,43	4,36	4,40	4,40
0P/100S	4,55	6,22	5,39	5,39
0P/200S	4,31	4,44	4,38	4,38
0P/400S	4,37	5,02	4,70	4,70
150P/0S	5,57	5,55	5,56	5,56
150P/100S	6,08	6,12	6,10	6,1
150P/200S	5,69	5,61	5,65	5,65
150P/400S	5,67	5,96	5,82	5,82

ANEXO 41. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 1.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
0P/0S	6,75	6,70	6,73	6,73
0P/100S	6,36	6,30	6,33	6,33
0P/200S	6,51	6,50	6,51	6,51
0P/400S	6,40	6,55	6,48	6,48
150P/0S	6,27	6,25	6,26	6,26
150P/100S	5,77	6,27	6,02	6,02
150P/200S	5,92	5,90	5,91	5,91
150P/400S	6,31	6,16	6,24	6,24

ANEXO 42 . pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 2.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,57	5,48	5,53	5,53
OP/100S	5,23	4,95	5,09	5,09
OP/200S	5,89	6,24	6,07	6,07
OP/400S	5,92	6,06	5,99	5,99
150P/OS	6,03	5,97	6,00	6
150P/100S	6,16	5,91	6,04	6,04
150P/200S	6,85	5,13	5,99	5,99
150P/400S	5,48	5,71	5,60	5,60

ANEXO 43. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 3.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,02	5,32	5,17	5,17
OP/100S	5,88	5,87	5,88	5,88
OP/200S	6,30	6,08	6,19	6,19
OP/400S	6,22	6,11	6,17	6,17
150P/OS	5,24	5,79	5,52	5,52
150P/100S	5,04	5,25	5,15	5,15
150P/200S	5,37	5,31	5,34	5,34
150P/400S	5,73	5,50	5,62	5,63

ANEXO 44. pH contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 4.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,19	4,72	4,96	4,96
OP/100S	5,36	6,2	5,78	5,78
OP/200S	5,98	6,11	6,05	6,05
OP/400S	6,01	4,68	5,35	5,35
150P/OS	5,65	6,19	5,92	5,92
150P/100S	6,12	6,23	6,18	6,2
150P/200S	5,72	5,7	5,71	5,71
150P/400S	5,39	6,17	5,78	5,78

ANEXO 45. S contenido en la solución suelo de en Andisol Serie Piedras Negras1.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,88	5,03	3,46	3,46
OP/100S	10,98	11,43	11,21	11,21
OP/200S	62,21	65,44	63,82	63,82
OP/400S	155,37	179,13	167,25	167,25
150P/OS	1,55	3,56	2,55	2,55
150P/100S	21,93	18,08	20,01	20,01
150P/200S	67,91	95,75	81,83	81,83
150P/400S	203,11	205,85	204,48	204,48

ANEXO 46. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras 2.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,07	1,32	1,70	1,70
OP/100S	2,29	3,06	2,67	2,67
OP/200S	38,83	16,89	27,86	27,86
OP/400S	86,51	80,35	83,43	83,43
150P/OS	1,03	3,98	2,51	2,51
150P/100S	12,20	8,14	10,17	10,17
150P/200S	47,57	14,33	30,95	30,95
150P/400S	175,75	26,36	101,05	101,05

ANEXO 47. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Piedras Negras3.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,46	3,57	2,52	2,52
OP/100S	4,09	6,72	5,41	5,41
OP/200S	25,03	29,72	27,38	27,38
OP/400S	135,27	79,64	107,45	107,45
150P/OS	4,01	25,69	14,85	14,85
150P/100S	28,04	27,51	27,78	27,78
150P/200S	57,82	96,39	77,12	77,11
150P/400S	107,61	120,23	113,92	113,92

ANEXO 48. S contenido en la solución suelo de en Andisol Serie Piedras Negras4.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,18	1,34	1,26	1,26
OP/100S	8,59	11,37	9,98	9,98
OP/200S	27,58	18,00	22,79	22,79
OP/400S	64,40	48,07	56,24	56,24
150P/OS	7,82	12,56	10,19	10,19
150P/100S	40,83	61,89	51,36	51,36
150P/200S	45,41	45,65	45,53	45,53
150P/400S	96,70	97,60	97,15	97,15

ANEXO 49. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 1.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	1,44	2,00	1,72	1,72
OP/100S	20,13	23,60	21,87	21,87
OP/200S	34,99	22,50	28,75	28,75
OP/400S	42,36	66,67	54,52	54,52
150P/OS	2,78	2,17	2,47	2,47
150P/100S	4,38	5,61	4,99	4,99
150P/200S	26,67	17,86	22,27	22,27
150P/400S	125,40	48,43	86,92	86,92

ANEXO 50. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 2.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,00	4,99	3,49	3,49
OP/100S	14,17	35,10	24,64	24,64
OP/200S	58,79	103,71	81,25	81,25
OP/400S	224,74	186,98	205,85	205,86
150P/OS	4,09	13,39	8,74	8,74
150P/100S	21,39	19,49	20,44	20,44
150P/200S	24,21	71,23	47,72	47,72
150P/400S	212,14	153,91	183,02	183,02

ANEXO 51. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 3.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,03	1,03	1,53	1,53
OP/100S	13,41	23,61	18,51	18,51
OP/200S	38,95	50,88	44,92	44,91
OP/400S	56,01	79,33	67,67	67,67
150P/OS	5,32	5,34	5,33	5,33
150P/100S	12,31	14,19	13,25	13,25
150P/200S	32,27	56,76	44,52	44,51
150P/400S	166,30	110,11	138,20	138,20

ANEXO 52. S contenido en la solución suelo de Andisol Serie Freire 4.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2,83	3,46	3,13	3,14
OP/100S	64,94	54,26	59,60	59,60
OP/200S	126,69	78,95	102,82	102,82
OP/400S	106,94	93,42	100,18	100,18
150P/OS	10,53	10,40	10,47	10,47
150P/100S	28,82	25,09	26,96	26,96
150P/200S	84,25	87,60	80,93	84,26
150P/400S	111,97	116,42	114,20	114,20

ANEXO 53. pH suelo de Andisol Serie Piedras Negras

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	4,61	4,62	4,61	4,61
OP/100S	4,64	4,67	4,68	4,66
OP/200S	4,62	4,66	4,68	4,65
OP/400S	4,73	4,71	4,73	4,72
150P/OS	4,71	4,70	4,75	4,72
150P/100S	4,76	4,75	4,77	4,76
150P/200S	4,78	4,81	4,8	4,80
150P/400S	4,76	4,76	4,78	4,77

ANEXO 54. Tabla de análisis de varianza. pH de Andisol Serie Piedras Negras

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,08459583	0,012085	35,8078	<,0001*
Error	16	0,0054	0,000337		
Total	23	0,08999583	0,012422	35,8078	

Coefficiente de variación (%) :

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 55. ph Suelo de Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	5,58	5,63	5,59	5,60
OP/100S	5,62	5,64	5,61	5,62
OP/200S	5,56	5,64	5,52	5,57
OP/400S	5,49	5,48	5,49	5,49
150P/OS	5,67	5,7	5,69	5,69
150P/100S	5,64	5,62	5,65	5,64
150P/200S	5,57	5,55	5,57	5,56
150P/400S	5,49	5,48	5,5	5,49

ANEXO 56. Tabla de análisis de varianza. pH de Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	0,10185	0,01455	21,5556	<,0001*
Error	16	0,0108	0,000675		
Total	23	0,11265	0,015225	21,5556	

Coefficiente de variación (%) : 0,47%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 57. P disponible de Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	7	5	6	6,00
OP/100S	6	5	6	5,67
OP/200S	5	6	5	5,33
OP/400S	5	5	5	5,00
150P/OS	17	16	18	17,00
150P/100S	15	18	13	15,33
150P/200S	14	18	21	17,67
150P/400S	11	13	14	12,67

ANEXO 58. Tabla de análisis de varianza.P disponible de Andisol Serie Piedras Negras

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	666,5	95,2143	32,1851	<,0001*
Error	16	47,33333	2,9583		
Total	23	713,83333	98,1726	32,1851	

Coefficiente de variación (%) : 11,07

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 59. P disponible de Andisol Serie Freire

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	18	17	17	17,33
OP/100S	18	17	18	17,67
OP/200S	17	18	17	17,33
OP/400S	17	16	16	16,33
150P/OS	31	24	29	28,00
150P/100S	29	27	27	27,67
150P/200S	25	30	27	27,33
150P/400S	24	25	23	24,00

ANEXO 60. Tabla de análisis de varianza. P disponible de Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	584,95833	83,5655	29,0663	<,0001*
Error	16	46	2,875		
Total	23	630,95833	86,4405	29,0663	

Coefficiente de variación (%) : 7,72%

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 61. S disponible en suelo de Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	2	4	4	3,33
OP/100S	20	20	19	19,67
OP/200S	35	38	39	37,33
OP/400S	76	62	73	70,33
150P/OS	4	4	3	3,67
150P/100S	21	29	20	23,33
150P/200S	39	49	49	45,67
150P/400S	72	82	87	80,33

ANEXO 62. Tabla de análisis de varianza. S disponible de Andisol Serie Piedras Negras

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	17330,625	2475,80	112,1119	<,0001*
Error	16	353,333	22,08		
Total	23	17683,958	2497,88	112,1119	<,0001*

Coefficiente de variación (%) : 13,25

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 63. S disponible en Andisol Serie Freire

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	19	19	19	19,00
OP/100S	31	37	37	35,00
OP/200S	59	57	59	58,33
OP/400S	81	87	87	85,00
150P/OS	22	20	20	20,67
150P/100S	45	42	43	43,33
150P/200S	61	68	66	65,00
150P/400S	94	96	88	92,67

ANEXO 64. Tabla de análisis de varianza. S disponible en Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
Tratamientos	7	16156,958	2308,14	311,2095	<,0001*
Error	16	118,667	7,42		
Total	23	16275,625	2315,56	311,2095	

Coefficiente de variación (%) : 5,10

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 65. Altura 1 de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedras Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	18,17	16,33	19,33	17,94
OP/100S	21,00	20,67	18,67	20,11
OP/200S	17,33	19,00	20,33	18,89
OP/400S	16,67	17,00	17,00	16,89
150P/OS	29,33	24,20	35,87	29,80
150P/100S	27,70	26,70	33,00	29,13
150P/200S	28,40	27,33	31,13	28,96
150P/400S	27,10	36,67	28,10	30,62

ANEXO 66. Altura 1de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	18,33	20,23	18,60	19,06
OP/100S	25,30	25,53	25,63	25,49
OP/200S	25,58	25,37	25,80	25,58
OP/400S	20,57	20,67	25,37	22,20
150P/OS	34,03	32,33	35,50	33,96
150P/100S	34,40	29,60	27,73	30,58
150P/200S	29,60	32,07	29,53	30,40
150P/400S	30,63	33,10	31,20	31,64

ANEXO 67. Altura 2. de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Piedra Negras.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	28,73	31,43	26,70	28,96
OP/100S	28,33	29,33	27,00	28,22
OP/200S	24,00	26,67	24,00	24,89
OP/400S	28,67	26,67	26,00	27,11
150P/OS	34,33	32,67	32,00	33,00
150P/100S	28,33	30,00	29,67	29,33
150P/200S	32,37	36,20	34,00	34,19
150P/400S	32,00	35,67	31,00	32,89

ANEXO 68. Altura 2de *Lolium perenne* L. cv. Nui en Andisol Serie Freire.

Tratamientos	R1	R2	R3	Promedio
OP/OS	38,27	38,83	33,17	36,76
OP/100S	25,90	33,60	37,67	32,39
OP/200S	34,90	31,30	40,73	35,64
OP/400S	38,00	39,90	40,43	39,44
150P/OS	30,47	35,97	39,27	35,23
150P/100S	41,53	45,00	38,33	41,62
150P/200S	35,77	42,43	36,80	38,33
150P/400S	36,17	46,37	46,37	42,97

ANEXO 69. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/0S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	0P-0S	0P-0S	0P-0S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9900-09	9901-09	9902-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	7	5	6
K (mg/kg)	129	82	82
pH (en agua)	4,61	4,62	4,61
Materia orgánica (%)	23	21	22
K (cmol+/kg)	0,33	0,21	0,21
Na (cmol+/kg)	0,09	0,08	0,08
Ca (cmol+/kg)	2,22	1,89	1,92
Mg (cmol+/kg)	0,96	0,81	0,82
Al (cmol+/kg)	0,81	0,81	0,82
Saturación de Al (%)	18,37	21,32	21,30
CICE (cmol+/kg)	4,41	3,80	3,85
S. Bases (cmol+/kg)	3,60	2,99	3,03
B (ppm)	0,36	0,37	0,33
Zn (ppm)	1,04	1,20	1,02
Cu (ppm)	0,58	0,73	0,61
Fe (ppm)	47,9	41,0	45,3
Mn (ppm)	2,19	2,73	2,6
S (ppm)	2	4	4
Al Ext. (ppm)	1652	1495	1494
pH CaCl ₂	4,32	4,33	4,34

ANEXO 70. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/100S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	0P-100S	0P-100S	0P-100S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9903-09	9904-09	9905-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	6	5	6
K (mg/kg)	94	82	86
pH (en agua)	4,64	4,67	4,68
Materia orgánica (%)	22	20	21
K (cmol+/kg)	0,24	0,21	0,22
Na (cmol+/kg)	0,09	0,08	0,08
Ca (cmol+/kg)	2,49	2,40	2,62
Mg (cmol+/kg)	0,89	0,86	0,90
Al (cmol+/kg)	0,76	0,80	0,79
Saturación de Al (%)	17,00	18,39	17,14
CICE (cmol+/kg)	4,47	4,35	4,61
S. Bases (cmol+/kg)	3,71	3,55	3,82
B (ppm)	0,35	0,31	0,28
Zn (ppm)	1,22	1,24	1,16
Cu (ppm)	0,68	0,75	0,69
Fe (ppm)	38,1	39,9	44,7
Mn (ppm)	2,88	2,59	2,71
S (ppm)	20	20	19
Al Ext. (ppm)	1465	1448	1570
pH CaCl ₂	4,35	4,38	4,40

ANEXO 71. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/200S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	0P-200S	0P-200S	0P-200S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9906-09	9907-09	9908-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	5	6	5
K (mg/kg)	102	78	102
pH (en agua)	4,62	4,66	4,68
Materia orgánica (%)	21	21	20
K (cmol+/kg)	0,26	0,20	0,26
Na (cmol+/kg)	0,09	0,07	0,08
Ca (cmol+/kg)	2,98	2,59	3,00
Mg (cmol+/kg)	0,89	0,81	0,96
Al (cmol+/kg)	0,78	0,75	0,73
Saturación de Al (%)	15,60	16,97	14,51
CICE (cmol+/kg)	5,00	4,42	5,03
S. Bases (cmol+/kg)	4,22	3,67	4,30
B (ppm)	0,34	0,31	0,33
Zn (ppm)	1,17	1,24	1,22
Cu (ppm)	0,67	0,75	0,67
Fe (ppm)	39,2	37,5	40,4
Mn (ppm)	3,87	2,9	3,52
S (ppm)	35	38	39
Al Ext. (ppm)	1396	1372	1460
pH CaCl ₂	4,36	4,41	4,43

ANEXO 72. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/400S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	0P-400S	0P-400S	0P-400S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9909-09	9910-09	9911-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	5	5	5
K (mg/kg)	86	94	102
pH (en agua)	4,73	4,71	4,73
Materia orgánica (%)	20	22	22
K (cmol+/kg)	0,22	0,24	0,26
Na (cmol+/kg)	0,07	0,09	0,07
Ca (cmol+/kg)	4,07	3,89	4,01
Mg (cmol+/kg)	0,88	0,96	0,98
Al (cmol+/kg)	0,67	0,70	0,69
Saturación de Al (%)	11,34	11,90	11,48
CICE (cmol+/kg)	5,91	5,88	6,01
S. Bases (cmol+/kg)	5,24	5,18	5,32
B (ppm)	0,29	0,33	0,34
Zn (ppm)	1,16	1,17	1,16
Cu (ppm)	0,66	0,78	0,63
Fe (ppm)	40,0	43,7	42,6
Mn (ppm)	4,18	4,2	4,96
S (ppm)	76	62	73
Al Ext. (ppm)	1414	1555	1459
pH CaCl ₂	4,43	4,45	4,47

ANEXO 73. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/0S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	150P-0S	150P-0S	150P-0S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9912-09	9913-09	9914-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	17	16	18
K (mg/kg)	51	43	47
pH (en agua)	4,71	4,70	4,75
Materia orgánica (%)	21	20	20
K (cmol+/kg)	0,13	0,11	0,12
Na (cmol+/kg)	0,07	0,06	0,05
Ca (cmol+/kg)	2,38	2,40	2,32
Mg (cmol+/kg)	0,93	0,93	0,95
Al (cmol+/kg)	0,74	0,77	0,76
Saturación de Al (%)	17,41	18,03	18,10
CICE (cmol+/kg)	4,25	4,27	4,20
S. Bases (cmol+/kg)	3,51	3,50	3,44
B (ppm)	0,35	0,33	0,33
Zn (ppm)	1,35	1,35	1,47
Cu (ppm)	0,79	0,81	0,81
Fe (ppm)	49,8	46,2	52,9
Mn (ppm)	2,92	2,86	3,28
S (ppm)	4	4	3
Al Ext. (ppm)	1518	1426	1463
pH CaCl ₂	4,38	4,37	4,41

ANEXO 74. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/100S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	150P-100S	150P-100S	150P-100S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9915-09	9916-09	9917-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	15	18	13
K (mg/kg)	55	63	55
pH (en agua)	4,76	4,75	4,77
Materia orgánica (%)	21	21	22
K (cmol+/kg)	0,14	0,16	0,14
Na (cmol+/kg)	0,04	0,05	0,04
Ca (cmol+/kg)	2,97	3,13	2,78
Mg (cmol+/kg)	0,93	0,94	0,88
Al (cmol+/kg)	0,70	0,70	0,71
Saturación de Al (%)	14,64	14,06	15,60
CICE (cmol+/kg)	4,78	4,98	4,55
S. Bases (cmol+/kg)	4,08	4,28	3,84
B (ppm)	0,3	0,32	0,29
Zn (ppm)	1,28	1,44	1,44
Cu (ppm)	0,80	0,79	0,70
Fe (ppm)	55	56,2	51,8
Mn (ppm)	3,10	4,46	2,21
S (ppm)	21	29	20
Al Ext. (ppm)	1538	1541	1568
pH CaCl ₂	4,42	4,43	4,44

ANEXO 75. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/200S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	150P-200S	150P-200S	150P-200S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9918-09	9919-09	9920-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	14	18	21
K (mg/kg)	51	55	63
pH (en agua)	4,78	4,81	4,80
Materia orgánica (%)	22	21	21
K (cmol+/kg)	0,13	0,14	0,16
Na (cmol+/kg)	0,05	0,04	0,05
Ca (cmol+/kg)	3,34	3,82	4,09
Mg (cmol+/kg)	0,89	0,93	0,95
Al (cmol+/kg)	0,67	0,62	0,62
Saturación de Al (%)	13,19	11,17	10,56
CICE (cmol+/kg)	5,08	5,55	5,87
S. Bases (cmol+/kg)	4,41	4,93	5,25
B (ppm)	0,32	0,28	0,28
Zn (ppm)	1,50	1,37	1,38
Cu (ppm)	0,86	0,81	0,80
Fe (ppm)	56,0	55,5	55,6
Mn (ppm)	4,2	4,25	4,78
S (ppm)	39	49	49
Al Ext. (ppm)	1642	1536	1542
pH CaCl ₂	4,37	4,44	4,45

ANEXO 76. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/400S en maceta en Andisol Serie Piedras Negras.

Muestra/Potrero	150P-400S	150P-400S	150P-400S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9921-09	9922-09	9923-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	11	13	14
K (mg/kg)	39	51	55
pH (en agua)	4,76	4,76	4,78
Materia orgánica (%)	22	21	21
K (cmol+/kg)	0,10	0,13	0,14
Na (cmol+/kg)	0,04	0,04	0,05
Ca (cmol+/kg)	3,91	4,62	4,82
Mg (cmol+/kg)	0,86	0,94	0,92
Al (cmol+/kg)	0,71	0,66	0,55
Saturación de Al (%)	12,63	10,33	8,49
CICE (cmol+/kg)	5,62	6,39	6,48
S. Bases (cmol+/kg)	4,91	5,73	5,93
B (ppm)	0,29	0,32	0,31
Zn (ppm)	1,24	1,24	1,33
Cu (ppm)	0,79	0,77	0,77
Fe (ppm)	51,7	51,0	53,5
Mn (ppm)	2,34	3,63	4,41
S (ppm)	72	82	87
Al Ext. (ppm)	1622	1560	1566
pH CaCl ₂	4,42	4,46	4,47

ANEXO 77. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/0S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	0P-0S	0P-0S	0P-0S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9876-09	9877-09	9878-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	18	17	17
K (mg/kg)	188	168	172
pH (en agua)	5,58	5,63	5,59
Materia orgánica (%)	15	15	15
K (cmol+/kg)	0,48	0,43	0,44
Na (cmol+/kg)	0,05	0,06	0,07
Ca (cmol+/kg)	7,14	7,38	7,19
Mg (cmol+/kg)	0,96	0,95	0,92
Al (cmol+/kg)	0,06	0,06	0,06
Saturación de Al (%)	0,69	0,68	0,69
CICE (cmol+/kg)	8,69	8,88	8,68
S. Bases (cmol+/kg)	8,63	8,82	8,62
B (ppm)	0,53	0,51	0,51
Zn (ppm)	0,85	0,85	1,27
Cu (ppm)	2,20	2,01	1,93
Fe (ppm)	37,6	30,4	27,4
Mn (ppm)	1,84	1,46	1,99
S (ppm)	19	19	19
Al Ext. (ppm)	699	658	649
pH CaCl ₂	5,02	5,03	4,99

ANEXO 78. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/100S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	0P-100S	0P-100S	0P-100S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9879-09	9880-09	9881-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	18	17	18
K (mg/kg)	152	172	207
pH (en agua)	5,62	5,64	5,61
Materia orgánica (%)	15	16	15
K (cmol+/kg)	0,39	0,44	0,53
Na (cmol+/kg)	0,06	0,05	0,06
Ca (cmol+/kg)	7,83	7,76	7,75
Mg (cmol+/kg)	0,96	0,94	0,96
Al (cmol+/kg)	0,06	0,06	0,06
Saturación de Al (%)	0,65	0,65	0,64
CICE (cmol+/kg)	9,30	9,25	9,36
S. Bases (cmol+/kg)	9,24	9,19	9,30
B (ppm)	0,5	0,49	0,51
Zn (ppm)	0,89	0,83	0,77
Cu (ppm)	2,19	2,14	2,09
Fe (ppm)	39,0	39,5	40,1
Mn (ppm)	2,14	1,93	2,20
S (ppm)	31	37	37
Al Ext. (ppm)	684	679	693
pH CaCl ₂	5,01	5,03	5,03

ANEXO 79. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/200S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	0P-200S	0P-200S	0P-200S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9882-09	9883-09	9884-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	17	18	17
K (mg/kg)	160	164	164
pH (en agua)	5,56	5,64	5,52
Materia orgánica (%)	16	16	15
K (cmol+/kg)	0,41	0,42	0,42
Na (cmol+/kg)	0,06	0,07	0,05
Ca (cmol+/kg)	8,56	7,96	8,36
Mg (cmol+/kg)	0,99	0,93	0,97
Al (cmol+/kg)	0,06	0,05	0,05
Saturación de Al (%)	0,60	0,53	0,51
CICE (cmol+/kg)	10,08	9,43	9,85
S. Bases (cmol+/kg)	10,02	9,38	9,80
B (ppm)	0,49	0,47	0,51
Zn (ppm)	0,9	0,86	0,83
Cu (ppm)	2,07	2,08	2,05
Fe (ppm)	37,7	35,6	36,1
Mn (ppm)	2,35	2,17	2,05
S (ppm)	59	57	59
Al Ext. (ppm)	694	678	649
pH CaCl ₂	5,03	5,08	4,96

ANEXO 80. Análisis de suelo para el tratamiento 0P/400S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	0P-400S	0P-400S	0P-400S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9885-09	9886-09	9887-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	17	16	16
K (mg/kg)	164	188	192
pH (en agua)	5,49	5,48	5,49
Materia orgánica (%)	15	15	15
K (cmol+/kg)	0,42	0,48	0,49
Na (cmol+/kg)	0,05	0,06	0,06
Ca (cmol+/kg)	8,42	8,56	8,82
Mg (cmol+/kg)	0,91	0,94	0,98
Al (cmol+/kg)	0,05	0,05	0,04
Saturación de Al (%)	0,51	0,50	0,38
CICE (cmol+/kg)	9,85	10,09	10,39
S. Bases (cmol+/kg)	9,80	10,04	10,35
B (ppm)	0,48	0,52	0,52
Zn (ppm)	0,82	0,76	0,78
Cu (ppm)	1,88	1,81	1,82
Fe (ppm)	31,5	28,1	29,2
Mn (ppm)	1,37	1,23	1,29
S (ppm)	81	87	87
Al Ext. (ppm)	644	596	615
pH CaCl ₂	5,08	5,07	5,05

ANEXO 81. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/0S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	150P-0S	150P-0S	150P-0S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9888-09	9889-09	9890-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	31	24	29
K (mg/kg)	137	125	145
pH (en agua)	5,67	5,70	5,69
Materia orgánica (%)	16	15	16
K (cmol+/kg)	0,35	0,32	0,37
Na (cmol+/kg)	0,07	0,06	0,06
Ca (cmol+/kg)	7,50	7,42	7,74
Mg (cmol+/kg)	0,99	0,91	0,99
Al (cmol+/kg)	0,05	0,05	0,07
Saturación de Al (%)	0,56	0,57	0,76
CICE (cmol+/kg)	8,96	8,76	9,23
S. Bases (cmol+/kg)	8,91	8,71	9,16
B (ppm)	0,53	0,48	0,45
Zn (ppm)	1,2	0,81	0,93
Cu (ppm)	2,24	2,01	2,33
Fe (ppm)	34,0	30,9	39,9
Mn (ppm)	1,74	1,48	2,06
S (ppm)	22	20	20
Al Ext. (ppm)	659	669	702
pH CaCl ₂	5,04	5,04	5,01

ANEXO 82. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/100S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	150P-100S	150P-100S	150P-100S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9891-09	9892-09	9893-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	29	27	27
K (mg/kg)	160	156	160
pH (en agua)	5,64	5,62	5,65
Materia orgánica (%)	16	16	15
K (cmol+/kg)	0,41	0,40	0,41
Na (cmol+/kg)	0,07	0,07	0,08
Ca (cmol+/kg)	8,38	7,89	8,36
Mg (cmol+/kg)	1,02	0,97	1,03
Al (cmol+/kg)	0,06	0,05	0,06
Saturación de Al (%)	0,60	0,53	0,60
CICE (cmol+/kg)	9,94	9,38	9,94
S. Bases (cmol+/kg)	9,88	9,33	9,88
B (ppm)	0,55	0,48	0,49
Zn (ppm)	1,04	1,21	0,85
Cu (ppm)	2,22	1,91	2,13
Fe (ppm)	39,7	29,4	33,9
Mn (ppm)	2,13	1,26	1,76
S (ppm)	45	42	43
Al Ext. (ppm)	655	619	631
pH CaCl ₂	5,07	5,06	5,05

ANEXO 83. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/200S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	150P-200S	150P-200S	150P-200S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9894-09	9895-09	9896-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	25	30	27
K (mg/kg)	109	137	149
pH (en agua)	5,57	5,55	5,57
Materia orgánica (%)	15	15	15
K (cmol+/kg)	0,28	0,35	0,38
Na (cmol+/kg)	0,06	0,07	0,05
Ca (cmol+/kg)	8,23	8,94	8,71
Mg (cmol+/kg)	0,95	1,01	0,98
Al (cmol+/kg)	0,06	0,05	0,06
Saturación de Al (%)	0,63	0,48	0,59
CICE (cmol+/kg)	9,58	10,42	10,18
S. Bases (cmol+/kg)	9,52	10,37	10,12
B (ppm)	0,55	0,53	0,58
Zn (ppm)	0,85	0,96	0,94
Cu (ppm)	2,05	2,16	2,09
Fe (ppm)	33,1	36,8	37,5
Mn (ppm)	2,45	3,63	3,20
S (ppm)	61	68	66
Al Ext. (ppm)	609	639	676
pH CaCl ₂	5,04	5,02	5,04

ANEXO 84. Análisis de suelo para el tratamiento 150P/400S en maceta en Andisol Serie Freire.

Muestra/Potrero	150P-400S	150P-400S	150P-400S
Rep	R1	R2	R3
Prof muestreo(cm)	20	20	20
N° Laboratorio	9897-09	9898-09	9899-09
N (mg/kg)	-	-	-
P (mg/kg)	24	25	23
K (mg/kg)	133	152	145
pH (en agua)	5,49	5,48	5,50
Materia orgánica (%)	15	16	15
K (cmol+/kg)	0,34	0,39	0,37
Na (cmol+/kg)	0,06	0,06	0,07
Ca (cmol+/kg)	9,23	9,62	9,01
Mg (cmol+/kg)	0,93	1,00	0,94
Al (cmol+/kg)	0,04	0,05	0,05
Saturación de Al (%)	0,38	0,45	0,48
CICE (cmol+/kg)	10,60	11,12	10,44
S. Bases (cmol+/kg)	10,56	11,07	10,39
B (ppm)	0,68	0,69	0,62
Zn (ppm)	0,90	0,88	0,83
Cu (ppm)	1,95	1,98	2,09
Fe (ppm)	30,7	32,5	32,7
Mn (ppm)	2,55	2,74	2,26
S (ppm)	94	96	88
Al Ext. (ppm)	650	624	615
pH CaCl ₂	5,06	5,09	5,08

ANEXO 85. Tabla de análisis de varianza. En la generación de fitomasa en Andisol Serie Piedras Negras.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
A	1	29,637	29,637	3886.825	<,0001*
B	3	0,614	0,205	26.830	<,0001*
A*B	3	0,126	0,0420	5.503	<,0009*
Error	16	0,122	0,00763		
Total	23	16275,625	1,326		

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 86. Tabla de análisis de varianza. En la generación de fitomasa en Andisol Serie Freire.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
A	1	2,673	2,673	516,379	<,0001*
B	3	0,230	0,0766	14,787	<,0001*
A*B	3	0,0314	0,0105	2,020	<,152
Error	16	0,0828	0,00518		
Total	23	3,017	0,131		

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 87. Tabla de análisis de varianza. En la variación del ph del suelo en Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
A	1	0,00327	0,00327	4,840	<,0,043
B	3	0,0901	0,0300	44,519	<0,001*
A*B	3	0,00843	0,00281	4,165	<,0,023
Error	16	0,0108	0,000675		
Total	23	0,113	0,00490		

Nivel de significancia :0,05

ANEXO 88. Tabla de análisis de varianza. En la variación del ph del suelo en Andisol Serie Freire

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Significancia
A	1	0,0570	0,0570	169,000	<0,001*
B	3	0,0199	0,00663	19,634	<0,001*
A x B	3	0,00768	0,00256	7,584	0,002*
Residual	16	0,00540	0,000338		
Total	23	0,0900	0,00391		

Nivel de significancia :0,05