

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS  
(*Lolium perenne L.*) VAR. NUI, CULTIVADO EN UN SUELO  
CONTAMINADO DE LA COMUNIDAD DE PUCARÁ”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO**

**Presentada por:**

**JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

---

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 - Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**“CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS  
(*Lolium perenne L.*) VAR. NUI, CULTIVADO EN UN SUELO  
CONTAMINADO DE LA COMUNIDAD DE PUCARÁ”**

**Presentada por:**

**JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dr. Javier Arias Carbajal**

**PRESIDENTE**

**Ing. Mg. Sc. Juan Antonio Guerrero Barrantes**

**ASESOR**

**Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa**

**MIEMBRO**

**Dra. Lily Denise Tello Peramás**

**MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	OBJETIVO PRINCIPAL .....	2
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1.	GEOQUÍMICA DEL PLOMO (Pb) .....	4
2.2.	ACUMULACIÓN DE PLOMO EN LAS PLANTAS Y EL SUELO .....	5
2.3.	ACCIÓN DEL PLOMO EN LAS PLANTAS .....	7
2.4.	EFFECTOS DEL PLOMO EN EL SUELO .....	8
III.	METODOLOGÍA .....	12
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	12
3.2.	LUGAR DEL EXPERIMENTO .....	12
3.3.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO .....	12
3.4.	ORIGEN DE LA MUESTRA DE SUELO .....	14
3.5.	MATERIALES .....	16
3.5.1.	SUELO CONTAMINADO CON Pb .....	16
3.5.2.	ESPECIE VEGETAL UTILIZADA COMO INDICADORA (RYEGRASS PERENNE O INGLÉS) .....	17
3.5.3.	AGUA DESIONIZADA .....	17
3.5.4.	CAL AGRÍCOLA .....	17
3.5.5.	FUENTES FOSFATADAS .....	18
3.5.6.	MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS .....	18
3.6.	MÉTODO .....	19
3.6.1.	INCUBACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO .....	20
3.6.2.	INSTALACIÓN Y MANEJO DEL RYEGRASS INGLÉS .....	20
3.6.3.	ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	21
3.6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS .....	22
3.7.	FACTORES DE ESTUDIO .....	23
3.7.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	23
3.7.2.	VARIABLES ANALIZADAS .....	23
3.7.3.	EVALUACIONES ADICIONALES .....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1.	RESPUESTA DEL RYEGRASS INGLÉS .....	25
4.1.1.	ALTURA .....	25

4.1.2. PESO SECO .....	32
4.1.3. NÚMERO DE BROTES .....	42
4.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO.....	46
4.2.1. EN EL RYEGRASS INGLÉS.....	46
4.2.2. EN LA MUESTRA DE SUELO .....	56
4.3. FACTOR BIOCOCENTRACIÓN .....	58
V. CONCLUSIONES .....	62
5.1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS - FOLLAJE .....	62
5.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS - RAÍCES.....	63
5.3. CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO EN LA MUESTRA DE SUELO.....	63
5.4. RESPUESTA DEL RYEGRASS A LOS TRATAMIENTOS .....	64
5.4.1. ENCALADO .....	64
5.4.2. FERTILIZACIÓN FOSFATADA.....	64
5.4.3. INTERACCIÓN: NIVEL DE ENCALADO X DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA .....	64
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	66
VII. ANEXOS .....	75
ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS .....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Rangos y contenido medio de Pb en vegetales de consumo .....	8
<b>Tabla 2:</b> Concentraciones máximas de Pb total en suelo agrícola.....	9
<b>Tabla 3:</b> Información meteorológica - 2016.....	13
<b>Tabla 4:</b> Concentración de Pb en la muestra de suelo empleado en el experimento.....	16
<b>Tabla 5:</b> Análisis efectuados en cada matriz .....	22
<b>Tabla 6:</b> Características y dosis de los tratamientos.....	23
<b>Tabla 7:</b> Análisis para cada variable de estudio. ....	24
<b>Tabla 8:</b> Altura del ryegrass (cm).....	26
<b>Tabla 9:</b> Peso seco del ryegrass (g) .....	33
<b>Tabla 10:</b> Número de brotes del ryegrass .....	42
<b>Tabla 11:</b> oncentración de Pb en el ryegrass (mg/kg) .....	47
<b>Tabla 12:</b> Concentración final de Pb en suelo (mg/kg) .....	56
<b>Tabla 13:</b> Factor de Bioconcentración.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fuentes de contaminación de Pb en el ambiente. ....	6
<b>Figura 2:</b> Distribución de Pb (ppm) en el perfil de un suelo contaminado .....	9
<b>Figura 3:</b> Ubicación del área de captación del suelo.....	15
<b>Figura 4:</b> Efecto de la interacción (ExF) en la altura del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente SFT. ....	28
<b>Figura 5:</b> Efecto de la interacción (ExF) en la altura del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente FDA.....	31
<b>Figura 6:</b> Efecto de la interacción (ExF) en el peso seco del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente SFT.....	35
<b>Figura 7:</b> Efecto de los niveles de encalado sobre el peso seco de raíces del ryegrass, en tratamientos con fuente SFT.....	36
<b>Figura 8:</b> Efecto de la interacción (ExF) en peso seco del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente FDA.....	39
<b>Figura 9:</b> Efecto del encalado sobre el peso seco de raíces del ryegrass, en tratamientos con fuente FDA. ....	40
<b>Figura 10:</b> Efecto de la interacción (ExF) en el número de brotes del ryegrass en tratamientos con fuente SFT.....	43
<b>Figura 11:</b> Efecto de la interacción (ExF) en el número de brotes del ryegrass, en tratamientos con fuente FDA.....	45
<b>Figura 12:</b> Efecto de la interacción (ExF) en la concentración de Pb en el follaje del ryegrass – primer corte, en tratamientos con fuente SFT. ....	49
<b>Figura 13:</b> Concentración promedio de Pb en hojas y tallos, según la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA .....	53
<b>Figura 14:</b> Concentración promedio de Pb en raíces, según el nivel de encalado .....	54
<b>Figura 15:</b> Efecto del encalado sobre el Factor Bioconcentración del ryegrass según el nivel de encalado. ....	59
<b>Figura 16:</b> Factor Bioconcentración del ryegrass según el nivel de encalado. ....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico.....	76
Anexo 2: Base de datos.....	87
Anexo 3: Informes de laboratorio.....	92
Anexo 4: Análisis estadísticos.....	106

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta en la concentración de Pb total en un suelo contaminado y en el ryegrass (*Lolium perenne* Var. NUI), por efecto del encalado y la fertilización fosfatada. Para ello se cultivó ryegrass en un suelo contaminado con Pb, proveniente de la Comunidad San Francisco de Pucará, ubicado en Morococha, Yauli, Junín – Perú. El trabajo experimental se llevó a cabo en macetas instaladas en la intemperie del Laboratorio de Fertilidad de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los tratamientos consistieron en aplicar tres niveles de encalado (0, 3 y 6 t/ha) y tres dosis fertilización fosfatada (0, 250 y 500 mg/kg), esto se repitió de manera paralela para las fuentes fosfatadas Super Fosfato Triple (SFT) y Fosfato Diamónico (FDA). Para la evaluación se consideró el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial, asimismo se efectuaron mediciones de altura y peso seco de follaje en dos cortes (41 y 70 días después de la germinación), peso seco de raíces, número de brotes, concentración de Pb en materia seca, concentración final de Pb en el suelo después del segundo corte y el Factor de Bioconcentración (FBC). Según los resultados para los tratamientos con SFT o FDA, la concentración final de Pb en el suelo luego de extraídas las raíces, no tuvo diferencias significativas; esto evidenció que la extracción de Pb por el ryegrass fue baja; sin embargo se evidenciaron comportamientos diferentes para la concentración del ryegrass entre el primer y segundo corte de follaje y entre las fuentes. En general para SFT o FDA el encalado favoreció la altura, el peso seco, número de brotes y disminuyó el FBC; en cambio la fertilización fosfatada no tuvo efecto sobre la altura, el peso seco, número de brotes y el FBC.

Palabras clave: Bioconcentración, encalado, fertilización, fosfatada, plomo, suelo.



## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the response in the concentration of total Pb in contaminated soil and in ryegrass (*Lolium perenne* Var NUI), by effect of liming and phosphate fertilization. For this, ryegrass was cultivated in a soil contaminated with Pb, from the San Francisco de Pucará Community, located in Morococha, Yauli, Junín - Peru. The experimental work was carried out in pots installed in the open air of the Fertility Laboratory of the National Agrarian University La Molina. The treatments consisted of applying three levels of liming (0, 3 and 6 t/ha) and three doses of phosphate fertilization (0, 250 and 500 mg/kg), this was repeated in a parallel way for phosphate sources Super Triple Phosphate (SFT) and Diammonium Phosphate (FDA). For the evaluation, the design of completely random blocks with factorial arrangement was considered, as well as measurements of height and dry weight of foliage in two cuts (41 and 70 days after germination), dry weight of roots, number of shoots, Pb concentration in dry matter, final concentration of Pb in the soil after the second cut and the Bioconcentration Factor (BCF). According to the results for treatments with SFT or FDA, the final concentration of Pb in the soil after extraction of the roots, did not have significant differences; this evidenced that the extraction of Pb by the ryegrass was low; however, different behaviors were evidenced for the concentration of ryegrass between the first and second foliage cut and between the sources. In general for SFT or FDA the liming favored height, dry weight, number of shoots and decreased the BCF; however, phosphate fertilization had no effect on height, dry weight, number of shoots and the BCF.

Keywords: Bioconcentration, liming, fertilization, phosphate, lead, soil.

## I. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de contaminación del suelo con plomo (Pb) pueden ser clasificadas en tres categorías; actividades industriales (minería y fundición), actividades urbanas (uso de Pb en petróleo y pinturas) y la agricultura (uso de insecticidas que contienen Pb). (Kaluderović, 2001). El destino del Pb antropogénico en el suelo ha recibido mucha atención porque este metal es peligroso para el hombre y animales por dos fuentes: La cadena alimenticia y la inhalación del suelo como polvo o geofagia (Kabata-Pendias, 2010). Asimismo, la epidemiología agrícola, ha demostrado una estrecha analogía entre los factores de riesgo ambiental y predisposición a enfermedad en una población vegetal, por un estrés abiótico (Porta, 2008) entre estos, la presencia de un metal pesado sin funcionalidad biológica y que altera la fisiología de la planta y que tiene consecuencias sobre la morbilidad, en razón de la casuística de los procesos de salud en los agroecosistemas (Bhopal, 2008).

La acción de los metales es de gran importancia debido a su propiedad de bioacumulación, toxicidad y efectos directos sobre la salud en todo tipo de sistemas vivos, en las relaciones suelo-agua-planta y sobre el humano (Weng et al., 2001). En la actualidad, los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de los suelos debido a su toxicidad y muy especialmente del comportamiento bioacumulativo en agroecosistemas (Sánchez et al., 2007; Cobb et al., 2009). Asimismo, los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos. Sin embargo, pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación (Millan et al., 2007). Esta persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria supone una amenaza para la salud humana y de los ecosistemas (Gulson et al., 1996; Becerril et al 2007), siendo este su mayor problema (Bech et al., 2002).

De acuerdo a esta problemática ambiental, diversos investigadores como: Kabata-Pendias, 2010; Tisdale y Nelson, 1970; Weil y Brady, 2017; Alloway, 1995; Kaluđerović, 2001; reportaron que la aplicación de fosfatos y cal agrícola a suelos contaminados con Pb, ayudan a disminuir la disponibilidad de Pb en el suelo, con la consecuente atenuación de la concentración de este metal en el tejido vegetal. Considerando que la fertilización fosfatada y el encalado del suelo son actividades agronómicas comunes, se planteó la siguiente hipótesis: El tratamiento al suelo contaminado con Pb, mediante el encalado en tres niveles y la fertilización fosfatada en tres dosis, utilizando dos fuentes; disminuyen la concentración de Pb en la materia seca foliar y radicular del *Lolium perenne* (ryegrass<sup>1</sup> inglés variedad NUI).

En ese sentido, la siguiente investigación se centró en cultivar ryegrass inglés en un suelo contaminado con Pb, procedente de una zona minera, para seguir los siguientes objetivos:

### **1.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Evaluar el efecto del encalado y fuentes de fertilizante fosfatado en la concentración de Pb de un suelo contaminado en la respuesta del ryegrass inglés.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la concentración de Pb en el follaje y raíces del ryegrass inglés, en respuesta a tres niveles crecientes de encalado.
- Determinar la concentración de Pb en el follaje y raíces del ryegrass inglés, en respuesta a tres dosis crecientes de fosfatos y dos fuentes fosfatadas.
- Determinar la concentración de Pb en el suelo al final del experimento.

Asimismo, en relación a los objetivos específicos se plantearon las siguientes hipótesis específicas:

---

<sup>1</sup> El ryegrass es una especie considerada para revegetación de áreas alteradas por actividades mineras y para planes de cierre de minas.

- La concentración de Pb en follaje y raíces del ryegrass inglés, disminuyen en función a los tres niveles crecientes de encalado.
- La concentración de Pb en follaje y raíces del ryegrass inglés, disminuyen en función a las tres dosis crecientes de fosfatos y dos fuentes fosfatadas.
- La concentración de Pb en el suelo al final del experimento varía según los tratamientos aplicados al suelo: nivel de encalado, dosis de fertilización fosfatada e interacción encalado x fertilización fosfatada.

Adicionalmente, con el objetivo de evidenciar otros posibles efectos de los tratamientos sobre el ryegrass, se evaluó el Factor Bioconcentración (FBC), la altura de la planta en dos cortes, el número de brotes al segundo corte, el peso seco de follaje en dos cortes y el peso seco de raíces. En ese sentido se plantearon las siguientes hipótesis específicas adicionales:

- El FBC, la altura en dos cortes, el número de brotes al segundo corte y el peso seco de follaje en dos cortes; disminuyen en función a los tres niveles crecientes de encalado.
- El FBC, la altura en dos cortes, el número de brotes al segundo corte y el peso seco de follaje en dos cortes; disminuyen en función a las tres dosis crecientes de fosfatos y dos fuentes fosfatadas.
- El FBC, la altura en dos cortes, el número de brotes al segundo corte y el peso seco de follaje en dos cortes; disminuyen en función a la interacción encalado x fertilización fosfatada.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. GEOQUÍMICA DEL PLOMO (Pb)

En general el valor medio de la concentración de Pb total para diferentes suelos se estima en 27 mg/kg. El valor del contenido promedio de fondo dado para los suelos de diferentes países varia (en mg/kg) de 18 (Suecia) a 27 (China). Su contenido en varios grupos de suelos varia dentro del rango de 3-90 mg/kg, siendo el más alto en Cambisols e Histosols. Los más bajos contenidos de fondo sobre los 40 mg/kg, son encontrados en Arenosols (Kabata-Pendias, 2010).

El Pb además está asociado a la fracción intercambiable, lo que implica una movilidad y biodisponibilidad peligrosa desde el punto de vista ambiental (Adelino, 2010). Hooda y Alloway (1997) encontraron que la adsorción de Pb en suelos agrícolas está correlacionado con el pH, CIC, contenido de materia orgánica, contenido de arcillas y con el  $\text{CaCO}_3$ . La movilización del Pb es usualmente lenta, pero algunos parámetros del suelo, como el incremento de la acidez, formación de complejos  $\text{Pb-MO}^2$  quizás incrementen su solubilidad (Kabata-Pendias, 2010).

La estabilización del Pb en suelos contaminados puede lograrse mediante la aplicación de fósforo y óxido de manganeso (Hettiarachchi y Pierzynski, 2002). Además, la continua remoción de P y otros elementos químicos inducidos por el crecimiento de las plantas puede afectar la biodisponibilidad del Pb en el suelo. Asimismo, tiene una fuerte tendencia a unirse a los fosfatos para formar compuestos insolubles como el  $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ,  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$  (Alloway, 1995).

---

<sup>2</sup> Plomo-Materia orgánica

Los fosfatos añadidos al suelo contaminado con Pb disminuyen levemente la fracción fácilmente soluble, y en una gran magnitud, óxidos, y fracciones de carbonatos, mientras incrementan las fracciones orgánicas, y especialmente, las fracciones residuales (Kabata-Pendias, 2010).

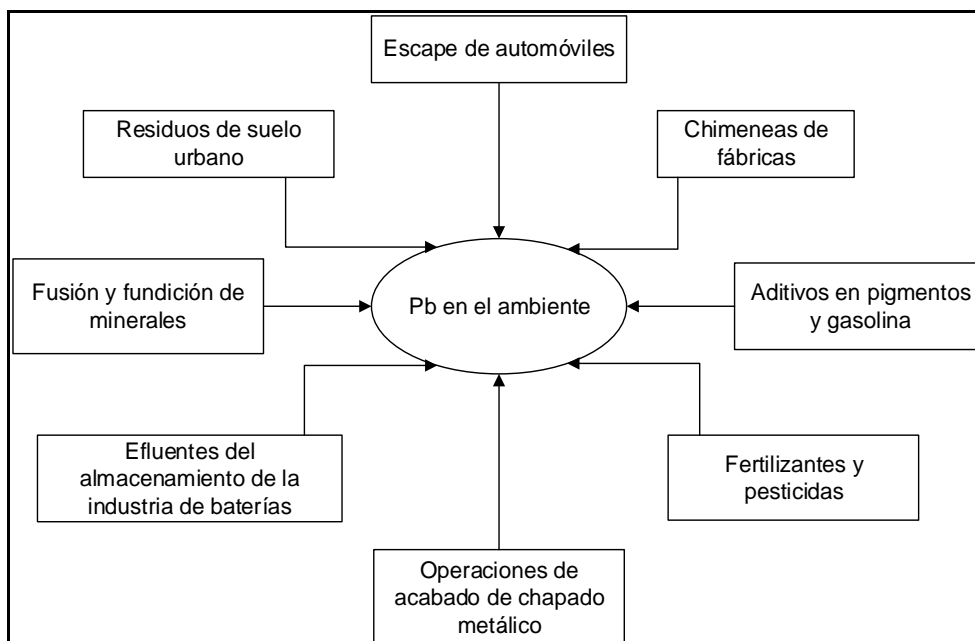
De acuerdo con Hettiarachchi et al. (2001), los compuestos de P son más efectivos en reducir el Pb biodisponible, donde las rocas fosfatadas son más efectivas que los fertilizantes de P.

Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli et al., 2004).

Generalmente, el Pb se acumula cerca a la superficie del suelo, principalmente adsorbido por la materia orgánica. Estudios conducidos por Sipos et al. (2005) sugieren que la materia orgánica juega un rol decisivo en la adsorción de Pb, pero la fijación por los minerales de arcilla es mucho más fuerte (Kabata-Pendias, 2010).

## **2.2. ACUMULACIÓN DE PLOMO EN LAS PLANTAS Y EL SUELO**

Los metales pesados y elementos traza de importancia en el ambiente por su trascendencia en la contaminación de suelos y, por tanto, de cultivos agrícolas pueden ser de naturaleza geogénica (origen natural) o antropogénica. Se habla de origen natural cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición de los distintos minerales presentes en el suelo. Los metales son de origen antrópico cuando sus concentraciones son mayores a las correspondientes a su composición geoquímica y son el resultado de las actividades del hombre (Figura 1).



**Figura 1:** Fuentes de contaminación de Pb en el ambiente.

FUENTE: Eick et al. (1999).

La contaminación del suelo debido a Pb por actividades mineras e industriales no es un problema nuevo. La antigua contaminación industrial por Pb ha sido reportada por varios países; asimismo, las crecientes cantidades de Pb en la superficie de suelos cultivados y no cultivados, han sido reportadas en diversos ecosistemas terrestres (Kabata-Pendias, 2010).

El Pb del suelo puede contaminar las plantas cultivadas, por absorción, o por deposición de tierra sobre la superficie de las plantas. Las plantas y el suelo contaminado son, a su vez, una fuente de contaminación del ganado (FAO/OMS, 2015).

Trabajos de investigación previos presentaron resultados que evidenciaron que el ryegrass inglés potencialmente puede extraer plomo del suelo y acumularlo en sus tejidos. Por ejemplo; Guanilo (2006) reportó en zonas mineras revegetadas con ryegrass en el distrito de Oyón, provincia de Oyón, región Lima; concentraciones de Pb en tejido vegetal de hasta 338 mg/kg, siendo variables en el tejido del ryegrass inglés según la concentración en el suelo. De acuerdo a Díaz (2012) el ryegrass inglés cultivado en suelo industrial contaminado disminuyó la concentración de plomo en suelo. Asimismo, Ríos (2017) reportó una disminución de hasta el 85.3% del plomo en suelo contaminado, a los 70 días de cultivo de

ryegrass inglés. Siendo la concentración de Pb en hojas de 39.02 mg/kg y en raíces 574.26 mg/kg.

### **2.3. ACCIÓN DEL PLOMO EN LAS PLANTAS**

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000), sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de entrada en la cadena alimentaria (John y Leventhal, 1995).

Los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos. Sin embargo, pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación (Millan et al., 2007). Esta persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria supone una amenaza para la salud humana y de los ecosistemas (Gulson et al., 1996; Becerril et al 2007), siendo este su mayor problema (Bech et al., 2002).

La absorción del Pb por las raíces de las plantas depende de características de la especie y de la disponibilidad del metal, que está condicionada por su distribución entre las fracciones del suelo y por propiedades como el pH y la capacidad de intercambio catiónico (Tlustos et al. 2001). La tendencia del Pb a formar precipitados insolubles con diversos aniones (fosfatos, carbonatos, hidroxio-óxidos) y complejos reduce su biodisponibilidad (McBride, 1994), que puede incrementarse a pH por debajo de 5,5.

La translocación de Pb desde la raíz hacia los tejidos aéreos es limitada. Por consiguiente, es esperable observar síntomas de toxicidad por Pb solamente si la concentración en el suelo es elevada, de 100 a 1000 mg/kg (Raskin y Ensley, 2000).

La Tabla 1 presenta el contenido medio de Pb en algunas Poáceas.



**Tabla 1:** Rangos y contenido medio de Pb en vegetales de consumo

Planta	Órgano	Rango (mg/kg, peso seco)
Trigo Cebada	Granos	0.1 - 1
Avena	Granos	0.1 - 1.5
Centeno	Granos	0.05 - 2
Arroz	Granos	0.06 - 1.3
Pastos*	Hojas	0.01 - 35

\* Las medias no superan los 4.6 mg/kg

FUENTE: Kabata-Pendias (2000).

Los valores normales de Pb absorbido como ion  $Pb^{2+}$  en tejidos vegetales, se encuentran entre 0.2 y 20 mg/kg (Alloway, 1995). En especies Poáceas, Dushenkov et al. (1995) informaron diversas capacidades de acumulación del metal pesado en las raíces (145 mg/kg de materia seca en *Agrostis sp.*, 135 mg/kg en *Lolium sp.*, 90 mg/kg en *Cynodon sp.*, 75 mg/kg en *Zea sp.*). Huang y Cunningham (1996) señalaron acumulación de plomo en tejidos aéreos de gramíneas como maíz (*Zea mays*) en condiciones de pH ácido y bajo contenido de fósforo, y Zhen-Guo et al. (2002) en la biomasa aérea de plantas de trigo (*Triticum aestivum*) que alcanzaron 80.4 mg/kg de Pb en materia seca al crecer sobre un suelo contaminado con 10,600 mg/kg de Pb.

#### 2.4. EFECTOS DEL PLOMO EN EL SUELO

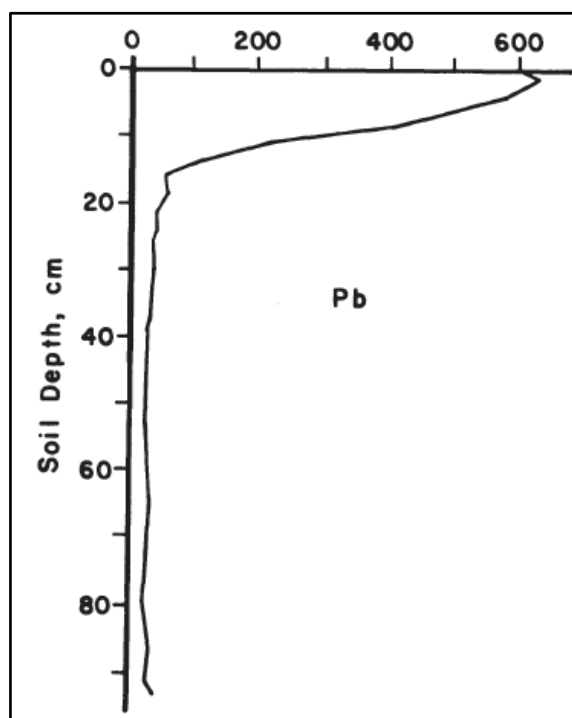
El suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana (FAO, 2015). Más allá del impacto en el medio ambiente, la contaminación del suelo tiene también un elevado coste económico, debido a la reducción de los rendimientos y la calidad de los cultivos (FAO, 2018).

La Tabla 2 presenta estándares de calidad de suelo para diferentes países.

**Tabla 2:** Concentraciones máximas de Pb total en suelo agrícola

País	Pb total (mg/kg)	Fuentes de referencia
Chile	50-75	Norma lodos NCh2952c-2004 (INN, 2004)
Unión Europea	50 - 300	
Francia	100	Directiva 86/278/EEC (Marmo, 2003); Ley ambiental 2878-1983
Italia	200	
España	40	
Australia	150	Norma Australian Standard AS 4454-199 (ARMCANZ/ANZECC, 2000)
US	150	McGrayh et al. (1994)
Canadá	60	Canadian Envioment Quality Guidelines
Perú	70	D.S. N° 011-2017 Estándares de Calidad Ambiental para Suelos

Según Fleming et al. (1968) la localización característica de Pb cerca de la superficie del suelo en la mayoría de los perfiles del suelo está principalmente relacionado con la acumulación superficial de materia orgánica. Las mayores concentraciones de Pb también se encuentran frecuentemente en los horizontes superiores ricos en materia orgánica de suelos no cultivados (Figura 2). Por lo tanto, la materia orgánica debe considerarse como un importante sumidero de Pb en suelos contaminados (Kabata-Pendias, 2000).



**Figura 2:** Distribución de Pb (ppm) en el perfil de un suelo contaminado

FUENTE: Veneman et al. (1983).

En ausencia de materia orgánica apreciable, el Pb es adsorbido fuertemente por los minerales de arcilla (Hildebrand y Blum, 1974) y óxidos de Fe (Hildebrand y Blum, 1974; Kinniburgh, et al., 1976). Asimismo, el plomo es generalmente más fuertemente absorbido que otros metales pesados (Echeverría et al., 1998; Usman, 2008).

Debido a que Pb ingresa al suelo en varios compuestos complejos, sus reacciones pueden diferir ampliamente (Kabata-Pendias, 2000). Tyler (1981) informó que el Pb es el metal más estable en el suelo forestal y el tiempo necesario para una disminución del diez por ciento de su concentración total por lixiviación se calculó en 200 años para suelos contaminados y 90 años para suelos control. Kitagishi y Yamane (1981) calcularon el período en que la cantidad de Pb en el suelo disminuirá a la mitad en un rango de 740 a 5,900 años, dependiendo del tipo de suelo, el manejo del agua y la materia orgánica presente.

En general, varias observaciones del balance de Pb en varios ecosistemas muestran que la entrada de este metal supera ampliamente su salida. Se debe enfatizar que la contaminación de los suelos con Pb es principalmente irreversible y, por lo tanto, es un proceso acumulativo continuo en suelos superficiales, incluso si las entradas son bajas. (Kabata-Pendias, 2000).

La estabilización química de elementos potencialmente tóxicos (EPT), entre ellos el Pb, a través de enmiendas se ha considerado como una alternativa viable y económica para la remediación de suelos o sustratos contaminados. Su objetivo es reducir la disponibilidad y movilidad de los EPT en el suelo o sustrato contaminado (Munive, 2018). Las enmiendas también aceleran los procesos de inmovilización que incluyen: sorción, precipitación, complejación y reacciones redox (Houben et al., 2012). Entre las enmiendas que más se han investigado están los fosfatos (Adriano et al., 2004) o calcita (Ulmanu et al., 2007)

Entre las posibles enmiendas inorgánicas del suelo, el encalado se ha aplicado durante mucho tiempo para aumentar pH del suelo y posteriormente para disminuir la absorción de Pb por plantas con respecto a las características del suelo y comportamiento de elementos individuales en el suelo (Ciecko et al. 2004, Puschenreiter et al. 2005). Asimismo, las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y la movilidad de Pb en los suelos

fueron investigadas por Aguilar et al. (2004) donde se determinó que el  $\text{CaCO}_3$  es predominantemente responsable de la retención de Pb en suelos.

El hecho de que los fosfatos de Pb (Piomorfitas) sean algunos de los minerales de  $\text{Pb}^{2+}$  más insolubles, condujeron a investigaciones sobre la posibilidad de convertir el Pb en sitios contaminados, en fosfato de Pb. En el estado estándar, los fosfatos de Pb son al menos 44 veces menos solubles que la anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ), la cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ) y el litargirio ( $\text{PbO}$ ), que son sólidos comunes en suelos contaminados por pinturas con plomo y fundiciones (Kaluderović, 2001).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo cuantitativo experimental porque se obtuvieron datos sobre el crecimiento de las plantas en laboratorio. Los datos son de tipo paramétrico<sup>3</sup> y los estadígrafos utilizados fueron la media, el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Sampieri et al., 2006).

#### **3.2. LUGAR DEL EXPERIMENTO**

La parte experimental del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los exteriores (Anexo 1) del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

#### **3.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO**

De acuerdo al sistema de clasificación de Koppen-Geiger-Poht, el cual se basa en promedios anuales de precipitación y de temperatura, a La Molina le corresponde la clasificación de Desierto Sub tropical Árido caluroso. La temperatura promedio anual para el año 2016 fue de 19.98 °C y la precipitación promedio anual fue de 0.21 mm. Los datos meteorológicos de los meses que estuvo instalado el experimento se obtuvieron de la estación meteorológica Alexander Von Humbolt de la UNALM (Tabla 3).

---

<sup>3</sup> Datos que siguen una distribución conocida, por ejemplo la distribución normal (Sampieri et al., 2006).

**Tabla 3:** Información meteorológica - 2016

---

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación máxima	0.8	2.7	0	0	2.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0	0.1
Precipitación mínima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura máxima	30.7	33	33.1	31.3	29.6	24.6	22.5	23.1	25.5	24.8	27.2	33.2
Temperatura mínima	16	20.2	19.4	16.8	13.8	11.4	12	11.5	12.4	13.1	11.7	14.9

---

FUENTE: Estación experimental A. Von Humbolt – UNALM.

Considerando las condiciones meteorológicas de la Molina; para evitar el déficit hídrico, el suelo en el cual se desarrolló el ryegrass se mantuvo en macetas y a condiciones de humedad cercanas a la capacidad de campo ( $CC \approx 12.58\%$ ).

### **3.4. ORIGEN DE LA MUESTRA DE SUELO**

La muestra de suelo contaminado provino de la Comunidad Campesina de San Francisco de Asís de Pucará (CCP), la cual está ubicada en el km 146 de la Carretera Central, Distrito de Morococha, Provincia de Yauli, Departamento Junín a 4400 m s.n.m. El punto de captación tiene las siguientes coordenadas referenciales (WGS 84) E: 382 089 N: 8 717 952. (Figura 3). Adicionalmente la figuras 1-1 y 1-2 del Anexo 1, se presenta una vista panorámica de la CCP y una vista panorámica del área de captación del suelo respectivamente.

El suelo empleado en el experimento, está clasificado según la Taxonomía de Suelos (2010) como Ustic Haplocryolls; molisol alto andino, de régimen frío con temperaturas del suelo menores de  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y régimen de humedad del suelo estacional (Minera Chinalco, 2015). Se encuentra ubicado en una ladera de montaña, al margen derecho de la Qda. Huascacocha, un afluente del río Pucará. Según la Capacidad de Uso Mayor de Tierras (MINAGRI, 2009), el suelo con el cual se instaló el experimento es apto para pastos (Minera Chinalco, 2015) y su Uso Actual es de terrenos con pastoreo en laderas de pendiente ligera a moderada (Minera Chinalco, 2015). La Figura 1-4 del Anexo 1, presenta una vista del uso actual de las tierras en la CCP.



**Figura 3:** Ubicación del área de captación del suelo.



### 3.5. MATERIALES

#### 3.5.1. SUELO CONTAMINADO CON Pb

Se utilizó aproximadamente 54 kg de suelo contaminado. Para identificar el suelo, con el cual se instaló el experimento; se efectuó el análisis preliminar de cuatro muestras de suelo (Tabla 4) en el Laboratorio de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM. La primera muestra se captó puntualmente a una profundidad de 0 a 10 cm y presentó una concentración de Pb de 1,109.87 ppm. Una vez identificado el suelo contaminado, se captó la cantidad suficiente para la instalación del experimento, desde una profundidad de 0 a 20 cm (Figura 1-3 del Anexo 1). Posteriormente se homogenizó y se extrajo tres muestras para su análisis, las cuales presentaron un promedio referencial de 672.12 ppm de Pb.

**Tabla 4:** Concentración de Pb en la muestra de suelo empleado en el experimento

Muestra	Repetición	Pb total (mg/kg)
Profundidad: 0 - 0.1 m	1	1,109.87
	1	648.72
Profundidad: 0 - 0.2 m	2	678.62
	3	689.02

FUENTE: Informes de análisis especial en suelo H.R. 52217-130C-15 y H.R. 52740

Conforme al Decreto Supremo N° 011-2017 MINAM ECA, el ECA suelo para uso agrícola para Pb es 70 mg/kg.

Asimismo, el análisis de caracterización efectuado en el LASPAF de la UNALM, el suelo presenta una textura Franco Arenosa; muy ligeramente salino ( $CE(1:1)=0.22$  dS/m), reacción es fuertemente ácida ( $pH(1:1)=3.92$ ), la presencia de carbonatos fue cero por ciento, con un alto contenido de P (42.4 ppm) y un contenido medio de K (164 ppm). La CIC fue alta (31.04 meq/100g suelo), presentó un porcentaje de saturación de bases de 11 por ciento y un alto porcentaje de materia orgánica de 14.65 (Anexo 3-1). De acuerdo a las observaciones efectuadas en campo, el suelo superficial presentó permeabilidad moderadamente rápida, presencia de gravillas en un 20 por ciento y color pardo rojizo oscuro (5YR 3/2), en húmedo. El informe de laboratorio se presenta en el Anexo 3.

Como información secundaria se resalta que el suelo superficial de la zona, presenta una concentración media de Fe total de 27,308.64 mg/kg, con mínimo de 5,664.25 mg/kg y máximo de 197,027.55 mg/kg. Esto se puede evidenciar en el color pardo rojizo oscuro (5YR 3/2) que presenta el suelo (figuras 1-2 y 1-4 del Anexo 1). Asimismo presenta concentraciones medias de Aluminio total de 11,172.94 mg/kg, con mínimo de 1,634 mg/kg y máximo de 25,002.61 mg/kg.

### **3.5.2. ESPECIE VEGETAL UTILIZADA COMO INDICADORA (RYEGRASS PERENNE O INGLÉS)**

Se seleccionó el ryegrass inglés para este trabajo por su potencial para Fitoextracción o Fitoestabilización de metales en suelos contaminados. Existen trabajos de investigación que emplearon esta especie como planta indicadora (Hernández, 2016; Guanilo, 2016; Díaz, 2012. Ríos, 2017; Huamancaja, 2018; González, 2016; Guerrero, 2017; Johnson, 2014; Silva, 2013; Alfaro, 2004), para evaluar la capacidad o eficiencia de esta especie para ser Fitoextractora o Fitoestabilizadora de metales como Pb, Cd, As y Cu en diversos tipos de suelo y grados de contaminación. Los resultados obtenidos en estos trabajos evidenciaron que esta especie tiene potencial para estos fines, dependiendo del tipo de suelo, grado de contaminación o tratamientos aplicados al suelo.

### **3.5.3. AGUA DESIONIZADA**

Para los riegos se utilizó únicamente agua desionizada, para evitar introducir solutos al suelo que puedan interferir con el experimento. La cantidad utilizada en cada riego fue variable y no se llevó registro.

### **3.5.4. CAL AGRÍCOLA**

El producto comercial que se utilizó presentó las siguientes características:

- Nombre químico: Hidróxido de Calcio.
- Fórmula química:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .
- Pureza de 55 a 59 por ciento.
- Solubilidad en agua: 0.185g/100 cm<sup>3</sup>.

### **3.5.5. FUENTES FOSFATADAS**

#### a. Superfosfato triple

El producto comercial que se utilizó presentó las siguientes características:

- Nombre químico: Fosfato diácido de calcio o Fosfato monocálcico.
- Fórmula química:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .
- Contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 46 por ciento.
- Contenido de Ca: 13 a 15 por ciento.
- P soluble en agua: Generalmente  $> 90$  por ciento.
- pH solución: 1 a 3

#### b. Fosfato diamónico

El producto comercial que se utilizó presentó las siguientes características:

- Nombre químico: Hidrógenofosfato de amonio o Fosfato diamónico.
- Fórmula química:  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .
- Presenta un contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 46 por ciento.
- Solubilidad en agua: 690 g/L (20°C).

### **3.5.6. MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS**

Materiales y herramientas:

- Macetas de 1 kg de capacidad, se utilizó recipientes de plástico para helados, sin agujeros de drenaje para evitar la pérdida de cualquier soluto por lixiviación.
- Libreta de campo, en ella se anotaron los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas.
- Bolsas de papel kraft, para contener el material vegetal fresco que fue llevado a la estufa.
- Bolsas plásticas, de cierre hermético para almacenar temporalmente el material vegetal seco a estufa.
- Lápiz, para efectuar diversas anotaciones.
- Tijera, para efectuar los cortes al ryegrass.
- Palas, para efectuar la captación del suelo y su homogenización.

- Wincha, para las mediciones periódicas de la parte aérea de las plantas.
- Plumones indelebles, para codificar las bolsas contenedoras de muestras y macetas.
- Mesa metálica, en ella se instaló el experimento.

Equipos:

- Cámara fotográfica, se documentó mediante fotografías el desarrollo del cultivo y procedimiento experimental.
- Balanza electrónica de precisión, se utilizó para efectuar las mediciones de insumos, peso seco y fresco del material vegetal.
- Balanza, se utilizó para el pesado de suelo en cada maceta.
- Estufa, se utilizó para secar el material vegetal y poder obtener su peso seco.

### **3.6. MÉTODO**

Se siguió la siguiente metodología de acuerdo a la hipótesis planteada: El tratamiento al suelo contaminado con Pb, mediante el encalado en tres niveles y la fertilización fosfatada en tres dosis, utilizando dos fuentes; disminuyen la concentración de Pb en la materia seca foliar y radicular del ryegrass.

### **3.6.1. INCUBACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO**

El procesamiento inicial del suelo consistió en tamizar todo el material con una malla de dos milímetros y luego se dividió el material en tres partes iguales y se encaló en tres niveles 0, 3 y 6 t/ha, para ello se empleó cal agrícola; posteriormente se incubó por 75 días a capacidad de campo (Figura 1-5 del Anexo 1). Finalizado este periodo se colocó 1000 gr de suelo en recipientes plásticos tipo macetas, estas se fertilizaron por separado con dos fuentes fosfatadas, y se dejaron incubar por 15 días adicionales con humedad aproximada a capacidad de campo (Figura 1-6 del Anexo 1). Cabe resaltar que se regó únicamente con agua desionizada.

Para evaluar el efecto de la fertilización fosfatada en las concentraciones de Pb en ryegrass, se probaron dos fuentes de fósforo; Superfosfato Triple (SFT) y Fosfato Diamónico (FDA), cada uno de estos fertilizantes se aplicó al suelo 15 días antes de la siembra y en tres dosis: 0, 250 y 500 mg/kg. Los fertilizantes SFT y FDA se molieron finamente y se aplicaron al suelo según las dosis preestablecidas. Adicionalmente en los tratamientos con SFT se aplicaron las mismas unidades nitrógeno en forma de urea, que se aplicaron en los tratamientos con FDA.

### **3.6.2. INSTALACIÓN Y MANEJO DEL RYEGRASS INGLÉS**

La siembra fue directa y se utilizó semillas de ryegrass inglés (*Lolium perenne L.*) variedad NUI<sup>4</sup>, se mantuvo 20 plantas por maceta. Cabe resaltar que el poder germinativo de la semilla al momento de la siembra fue de 95 por ciento y su pureza fue de 99 por ciento (Figura 1-7 del Anexo 1).

Se cultivó el ryegrass por un periodo de 70 días, desde la siembra hasta efectuar dos cortes; el primero se realizó a los 41 días después de la germinación y el segundo a los 30 días después del primer corte. Se evaluaron parámetros morfológicos como: altura y número de tallos; de manera periódica, aproximadamente cada siete días.

Asimismo, para el primer corte, se evaluó la concentración de Pb en la materia seca del follaje. Para el segundo corte, se evaluó la concentración de Pb en la materia seca del follaje y de las raíces; asimismo se evaluó la concentración final de Pb en el suelo. Cabe resaltar

---

<sup>4</sup> Proveedor de la semilla: Hortus

que el material vegetal seco y el suelo, luego del experimento fueron analizados en el LASPAF de la UNALM.

Con los resultados de los análisis de concentración de Pb en el follaje y suelo, se calculó el factor de bioconcentración. Este índice puede encontrarse en la bibliografía también citado como Coeficiente de absorción biológica (BAC), coeficiente de transferencia (TC) o factor de concentración (Cf). Este se define como la relación de la concentración de metales en la raíz de la planta con respecto a la concentración total de metales en el suelo (Figliolia et al., 2002 y Pérez-Sirvent, 2008), según la ecuación 1.

$$\mathbf{FBC=C_p/C_s \quad \dots\dots\dots (1)}$$

Donde: Cp es la concentración del tóxico en la raíz (mg/kg) y Cs es la concentración de tóxico en el suelo (mg/kg).

### **3.6.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Para todos los análisis de laboratorio se contrató el servicio especializado del LASPAF de la UNALM, en ese sentido los métodos fueron aplicados por personal especializado (Tabla 5).

**Tabla 5:** Análisis efectuados en cada matriz

Matriz	Tipo de análisis	Método
Suelo	Textura	Hidrómetro
	Salinidad	Medida de la conductividad eléctrica del extracto acuoso en la relación suelo: agua: 1:1
	pH	Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua Relación 1:1
	Calcáreo total (CaCO <sub>3</sub> )	Método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro
	Materia orgánica	Método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % M.O.=%Cx1.724
	Fósforo disponible	Método de Olsen modificado, extracción con NaHCO <sub>3</sub> =0.5M, pH 8.5
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Saturación con acetato de amonio
Tejido vegetal	Pb total	Digestión ácida
	Pb total	Digestión ácida

Fuente: LASPAF de la UNALM.

#### 3.6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

Para el análisis estadístico de los datos se consideró el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3x3x2, que hacen un total de 18 combinaciones con tres repeticiones cada una, es decir, 54 unidades experimentales.

La Tabla 6 presenta un resumen de los tratamientos: Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada para cada fuente.

**Tabla 6:** Características y dosis de los tratamientos

Nivel de encalado (E)		Dosis de fertilización con SFT (F)		Dosis de fertilización con FDA (F)	
1	0 t CaCO <sub>3</sub> /ha	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
2	3 t CaCO <sub>3</sub> /ha	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
3	6 t CaCO <sub>3</sub> /ha	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	1	0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	2	250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo
		3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo	3	500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg Suelo

SFT: Superfosfato triple; FDA: Fosfato diamónico

Los métodos estadísticos empleados fueron el análisis de varianza y cuando se presentaron diferencias significativas, se efectuó la prueba de Tukey para comparación de medias. Cabe resaltar que en algunos casos se realizaron transformaciones numéricas tipo raíz cuadrada, ya que en los análisis preliminares, la distribución de los resultados no cumplió con el supuesto de normalidad requerido por el análisis de varianza.

### 3.7. FACTORES DE ESTUDIO

#### 3.7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Considerando el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3x3x2, se ordenaron los tratamientos de manera aleatoria y se efectuaron tres repeticiones por cada tratamiento.

#### 3.7.2. VARIABLES ANALIZADAS

Las evaluaciones se centraron en las siguientes variables:

##### a. En la planta

- Peso seco del material vegetal: follaje y raíces por separado (gramos/maceta).
- Contenido de Pb en la materia seca: Análisis químico de la concentración de Pb (mg/kg) para el follaje y raíces por separado.
- Número de brotes por planta por maceta, después de efectuar el segundo corte.



b. En la muestra de suelo

- Análisis del contenido de Pb (mg/kg) después de efectuar el último corte del ryegrass inglés.

Asimismo, estos análisis se efectuaron para las variables presentadas en la Tabla 7.

**Tabla 7:** Análisis para cada variable de estudio.

Variable	Análisis de efectos
- Ryegrass: Concentración de Pb en materia seca de follaje y en raíces, por separado; para el primer y segundo corte.	- Análisis de los resultados para los tratamientos con SFT. - Nivel de encalado. - Dosis de fertilización
- Suelo: Concentración final de Pb total.	- Análisis de los resultados para los tratamientos con FDA. - Nivel de encalado x Dosis de fertilización.

### 3.7.3. EVALUACIONES ADICIONALES

Para cada una de las evaluaciones adicionales se consideró el análisis de efectos presentados en la Tabla 7.

- Altura de la planta para el primer y segundo corte.
- Peso seco de raíces y de follaje para el primer y segundo corte.
- Peso seco de raíces.
- Número de brotes.
- Factor de Bioconcentración.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las tablas matrices con el resumen de cada evaluación se presentan en el Anexo 2, asimismo los informes de laboratorio se presentan en el Anexo 3.

### **4.1. RESPUESTA DEL RYEGRASS INGLÉS**

El panel fotográfico respectivo se presenta en las figuras 1-8 al 1-11 del Anexo 1, asimismo los análisis estadísticos se presentan en el Anexo 4.

#### **4.1.1. ALTURA**

En la Tabla 8 se presentan el resumen de los resultados para esta variable.

**Tabla 8:** Altura del ryegrass (cm)

	Fuente SFT		Fuente FDA	
	Primer corte	Segundo corte	Primer corte	Segundo corte
Nivel de encalado	***	*	***	***
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	18.35 c	8.29 a	20.41 c	8.63 b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	19.59 b	8.31 a	21.12 b	8.16 c
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	20.56 a	8.86 a	28.33 a	9.82 a
Dosis de fertilización	***	*	***	*
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	23.76 a	8.80 a	24.68 a	8.77 ab
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.10 c	8.08 b	22.73 b	8.62 b
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.64 b	8.58 ab	22.45 b	9.22 a
Nivel de encalado x Dosis de fertilización	***		***	
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.67 c	8.37	21.67 c	8.23
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	18.30 d	8.10	20.53 c	8.67
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	16.10 f	8.40	19.03 d	9.00
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	22.93 b	8.70	24.03 b	8.00
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	15.50 f	7.50	19.00 d	7.90
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.33 c	8.73	20.33 cd	8.57
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	27.67 a	9.33	28.33 a	10.01
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.50 de	8.63	28.67 a	9.30
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	16.50 ef	8.60	28.00 a	10.10

Significativo: 0 ‘\*\*\*’ c ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05. No significativo: ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

#### Primer corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) entre los promedios según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-1), es decir el encalado tuvo efecto sobre la altura del ryegrass. De acuerdo a la prueba de Tukey, la menor altura promedio, se presentó en el nivel de encalado 0 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E1) con 18.35 cm y el mayor promedio se presentó en el nivel de encalado 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) con 20.56 cm (Anexo 4: Tabla 4-2)

Asimismo se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para las dosis de fertilización, es decir la fertilización fosfatada con SFT tuvo efecto sobre la altura del ryegrass. Según la prueba de Tukey, la menor altura promedio se presentó en la dosis 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg Suelo (F2), con 17.1 cm en promedio; y la mayor altura promedio se obtuvo con 0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg Suelo (F1), con 23.76 cm (Anexo 4: Tabla 4-3).

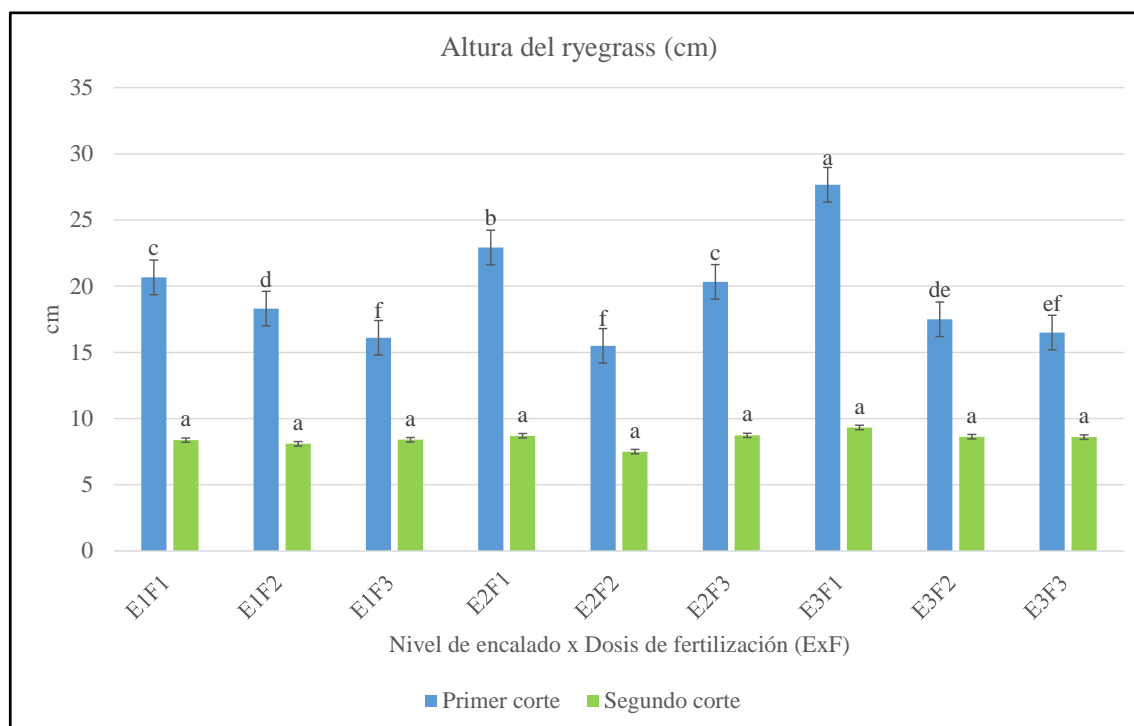
Los promedios de la interacción Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ), es decir para el primer corte los tratamientos tuvieron efecto sobre la altura del ryegrass, siendo el mayor promedio el obtenido con 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (E3F1) y el menor promedio con el tratamiento 3 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (E2F2) (Anexo 4: Tabla 4-4 y Figura 4).

#### Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

El análisis de varianza presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según los niveles de encalado, (Anexo 4: Tabla 4-5), sin embargo la prueba de comparación de medias evidencia que los promedios de la altura según los niveles presentaron promedios similares (Anexo 4: Tabla 4-6).

Asimismo se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para los promedios de altura según la dosis de fertilización fosfatada, la prueba de comparación de medias presentó que la dosis 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F1) produjo la menor altura promedio con 8.8 g/maceta; y la mayor altura promedio con 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F2), con 8.08 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-7).

Los promedios de la interacción Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, no presentaron diferencias significativas, es decir fueron estadísticamente similares.



**Figura 4:** Efecto de la interacción (ExF) en la altura del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente SFT.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se aprecia que para el primer corte el encalado tuvo un efecto positivo sobre la altura promedio del ryegrass; lo cual coincide con lo descrito por Tisdale y Nelson (1970), la aplicación de cal a la mayor parte de los suelos produjo un aumento directo en el crecimiento de las plantas. Sin embargo para el segundo corte no se evidenció claramente este mismo comportamiento, posiblemente el efecto del encalado fue atenuándose en el tiempo debido al pH (3.92) fuertemente ácido del suelo.

Asimismo, para la respuesta a la fertilización fosfatada con SFT, no se observó un comportamiento claro sobre el ryegrass en el primer y segundo corte; esto podría deberse a lo reportado por Weil y Brady (2017), cuando las fuentes solubles de fósforo, como el de los fertilizantes y los abonos, se agrega a los suelos, puede que se fijen, cambiando a formas no disponibles. En ese sentido es posible que la fertilización con SFT pudo no contribuir con suficiente fósforo disponible para el ryegrass y por ello su efecto no se evidenció con claridad, ya que la disponibilidad del fósforo fue máxima en un orden de pH que osciló de 5.5 a 7, disminuyendo cuando el pH cae por debajo de 5.5 (Tisdale y Nelson, 1970).

La interacción del Nivel de encalado x Dosis de fertilización afectó la altura en el primer corte, pero no produjo efecto para el segundo corte. De acuerdo a Tisdale y Nelson (1970), la adición de cal a suelos ácidos aumenta la disponibilidad fósforo para las plantas, de ello se podría esperar que al aumento del nivel de encalado y dosis de fertilización se produzca también un aumento de la altura de la planta, sin embargo este comportamiento no se aprecia (Figura 4), es posible que otras condiciones del suelo pudieran interferir en el comportamiento esperado. En ese sentido; Tisdale y Nelson (1970) y Weil y Brady (2017), mencionan que la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al contribuyen grandemente en la retención del fósforo añadido al suelo; adicionalmente si consideramos la concentración media de Fe (27,308.63 mg/kg) y Al (11,173 mg/kg) del suelo empleado, es posible que estos elementos contribuyeron a que los tratamientos no produzcan un comportamiento claro sobre la altura del ryegrass.

#### Primer corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) entre los promedios según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-8), es decir el encalado tuvo efecto sobre la altura del ryegrass en el primer corte. De acuerdo a la prueba de Tukey, la menor altura promedio, se presentó en el nivel de encalado 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E1) con 20.41 cm y el mayor promedio se presentó en el nivel de encalado 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) con 28.33 cm (Anexo 4: Tabla 4-9).

Asimismo se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) para los promedios según las dosis de fertilización, es decir la fertilización fosfatada con SFT tuvo efecto sobre la altura del ryegrass en el primer corte. Según la prueba de Tukey, las menores alturas promedio se presentaron en las dosis 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (F2) y 500 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (F3), con 22.73 y 22.45 cm respectivamente, siendo estas estadísticamente similares. La mayor altura promedio se obtuvo en 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (F1), con 24.68 cm (Anexo 4: Tabla 4-10).

Los promedios de la interacción Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, presentaron diferencias altamente ( $P < 0.001$ ), es decir para el primer corte los tratamientos

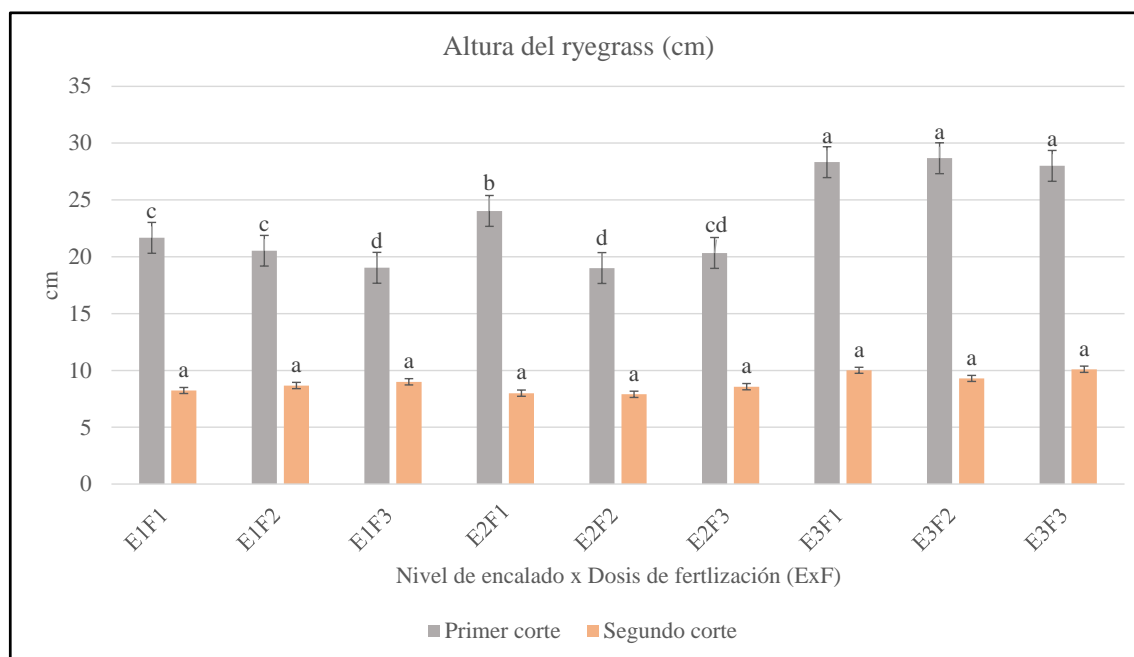
tuvieron efecto sobre la altura de la planta, siendo los mayores promedios los obtenidos con los tratamientos: 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F1), 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F2) y 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F3); los cuales fueron estadísticamente similares. Los menores promedios se presentaron en 0 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E1F3) y 3 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E2F2), siendo estadísticamente similares (Anexo 4: Tabla 4-11).

#### Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) entre los promedios según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-12), asimismo la prueba de comparación de medias evidencia que el mayor promedio se obtuvo en el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) con 9.82 cm y la menor altura se produjo con 3 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E2) con 8.16 cm (Anexo 4: Tabla 4-13).

Asimismo se presentaron diferencias significativas para los promedios según las dosis de fertilización, la prueba de comparación de medias presenta que la dosis 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F2) produjo la menor altura promedio con 8.62, y la mayor altura promedio con 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F3) con 9.22 cm (Anexo 4: Tabla 4-14).

Los promedios de la interacción Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, no presentaron diferencias significativas, es decir fueron estadísticamente similares.



**Figura 5:** Efecto de la interacción (ExF) en la altura del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente FDA.

Para el primer y segundo corte de follaje, el encalado tuvo un efecto positivo sobre la altura promedio del ryegrass; esto coincide con lo descrito por Tisdale y Nelson (1970), la aplicación de cal a la mayor parte de los suelos produce un aumento directo en el crecimiento de las plantas.

Asimismo, para la respuesta a la fertilización fosfatada con FDA, se observó que la dosis 0 mg  $P_2O_5/kg$  (F1) produjo el mejor promedio; en cambio para el segundo corte, aunque la dosis 500 mg  $P_2O_5/kg$  produjo los mejores promedios, no se evidenció una tendencia clara o superioridad sobre la dosis 0 mg  $P_2O_5/kg$  (F1). Esto podría deberse a lo reportado por Weil y Brady (2017), cuando las fuentes solubles de fósforo, como el de los fertilizantes y los abonos, se agrega a los suelos, puede que se fijen, cambiando a formas no disponibles. En ese sentido es posible que la fertilización con FDA pudo no contribuir con suficiente fósforo disponible para el ryegrass y por ello su efecto no se evidenció con claridad, considerando que el pH del suelo empleado fue 3.92; Tisdale y Nelson (1970) indicaron que la disponibilidad del fósforo es máxima en un orden de pH que oscila de 5.5 a 7, disminuyendo cuando el pH cae por debajo de 5.5.



La interacción del Nivel de encalado x Dosis de fertilización afectó la altura en el primer corte, pero no produjo efecto para el segundo corte. De acuerdo a Tisdale y Nelson (1970), la adición de cal a suelos ácidos aumenta la disponibilidad fósforo para las plantas, de ello se podría esperar que al aumento del nivel de encalado y dosis de fertilización fosfatada se produzca también un aumento de la altura de la planta. Este comportamiento se aprecia para el nivel de encalado 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) en todas las dosis de fertilización con FDA en el primer corte, pero no para el segundo corte (Figura 5), es posible que otras condiciones del suelo interfirieron en el comportamiento esperado. En ese sentido; Tisdale y Nelson (1970) y Weil y Brady (2017), mencionan que la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al contribuyen grandemente en la retención del fósforo añadido al suelo, si consideramos la concentración media de Fe (27,308.63 mg/kg) y Al (11,173 mg/kg) del suelo empleado; adicionalmente, Fox et al. (1962) y Weil y Brady (2017) expusieron que cuanto más tiempo permanece el fósforo aplicado al suelo será menos soluble, y, por lo tanto, tiende a convertirse en menos disponible para las plantas. Es posible que estas condiciones contribuyeron a que los tratamientos no produzcan diferencias para el segundo corte.

#### **4.1.2. PESO SECO**

En la Tabla 9 se presenta el resumen de los resultados para esta variable.

**Tabla 9:** Peso seco del ryegrass (g)

	Fuente SFT			Fuente FDA		
	Primer corte	Segundo corte	Raíces	Primer corte	Segundo corte	Raíces
Nivel de encalado	***	***	*	***	***	***
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.53 b	4.43 b	10.19 b	11.06 a	4.74 b	10.81 b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.77 b	4.41 b	10.66 ab	9.26 b	4.75 b	11.24 b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	9.84 a	5.19 a	12.09 a	9.22 b	5.53 a	12.59 a
Dosis de fertilización	***	***		***	***	
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.58 a	5.09 a	11.06	10.23 a	5.29 a	11.52
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.96 b	4.61 b	10.56	9.71 b	4.96 b	11.49
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.60 b	4.33 c	11.33	9.60 b	4.77 c	11.62
Nivel de encalado x Dosis de fertilización	.	***		***	***	
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.82	4.71 c	10.20	9.85 bcd	5.18 bc	10.61
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.66	4.53 cd	10.30	9.59 cd	4.96 cd	10.89
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.12	4.06 d	10.09	8.23 e	4.08 e	10.93
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.49	4.79 bc	10.86	10.26 bc	5.51 b	10.93
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.30	4.03 d	9.68	8.16 e	3.99 e	11.45
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.51	4.41 cd	11.44	9.36 d	4.76 d	11.33
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	10.41	5.76 a	12.12	10.58 ab	5.18 bc	13.03
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.93	5.29 ab	11.70	11.38 a	5.93 a	12.12
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.17	4.53 cd	12.45	11.21 a	5.49 b	12.62

Significativo: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. No significativo: '.' 0.1 '.' 1

### Primer corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para los promedios de peso seco (Anexo 4: Tabla 4-15). De acuerdo a la prueba de Tukey para comparación de medias, el nivel de encalado 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) presentó el mayor peso seco promedio con 9.84 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-16).

Asimismo se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para los promedios según la dosis de fertilización fosfatada, siendo 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F1) la dosis que produjo el mejor peso seco 9.58 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-17).

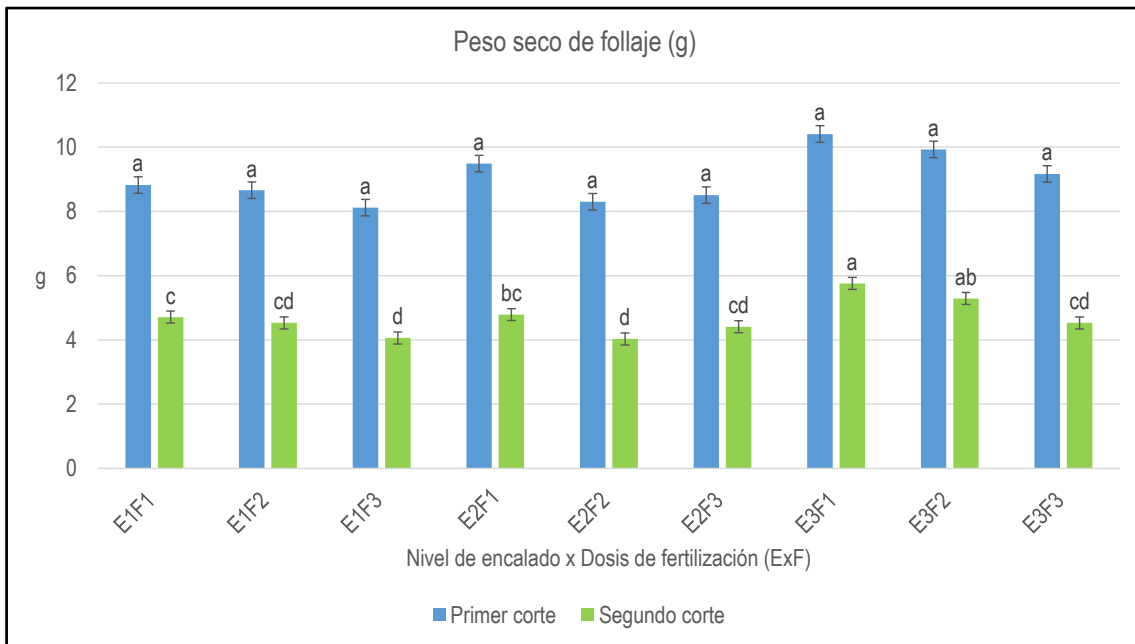
Los promedios de peso seco según la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, no presentaron significancias, es decir los promedios son estadísticamente similares.

### Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para los promedios de peso seco (Anexo 4: Tabla 4-18). De acuerdo a la prueba de Tukey para comparación de medias, el nivel de encalado 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) presentó el mayor peso seco promedio con 5.19 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-19).

La dosis de fertilización fosfatada presentó promedio con diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ), siendo la dosis 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  Suelo (F1) la que produjo el mejor peso promedio, con 5.09 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-20).

La interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ), es decir los tratamientos tuvieron efecto sobre el peso seco en el segundo corte. Según la prueba de Tukey el mayor promedio se obtuvo con el tratamiento 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F1) con 5.76 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-21).

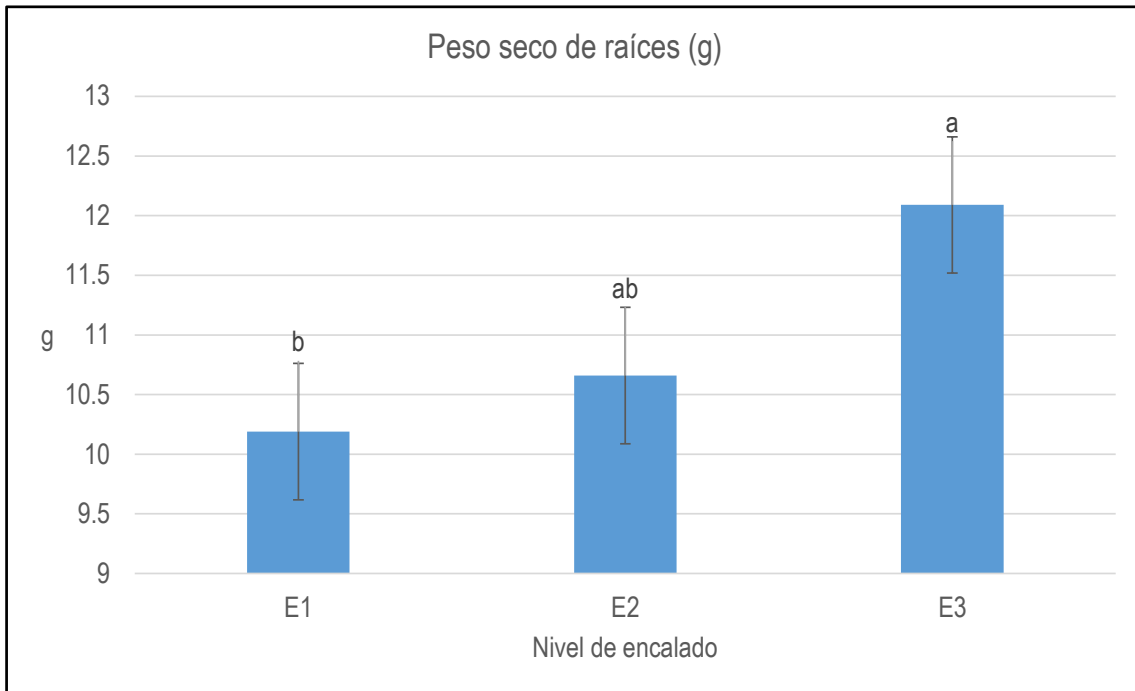


**Figura 6:** Efecto de la interacción (ExF) en el peso seco del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente SFT.

#### Peso seco de raíces para tratamientos con fuente SFT

La prueba de análisis de varianza presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el peso seco promedio de raíces (Anexo 4: Tabla 4-22), en ese sentido los niveles de encalado tuvieron efecto sobre este parámetro. La prueba de comparación de medias dio como mayor promedio el obtenido en el nivel 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) con 12.09 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-23).

Asimismo no se presentaron significancias para los promedios según la dosis de fertilización y para la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada.



**Figura 7:** Efecto de los niveles de encalado sobre el peso seco de raíces del ryegrass, en tratamientos con fuente SFT.

Para el primer y segundo corte de follaje y para las raíces, se obtuvieron comportamientos similares del peso seco promedio según el nivel de encalado, en ese sentido se evidencia el efecto positivo de los niveles de encalado sobre el peso seco. Resultados similares fueron reportados por Vega (2014) y Rodríguez et al. (2014), quienes obtuvieron aumento en la producción de materia seca en pastos al encalar el suelo. De acuerdo con Fassbender (1984), el encalado trae una serie de efectos directos e indirectos entre ellos la mayor disponibilidad de nutrientes, esto se traduce en la planta como mayor peso seco.

Asimismo, en función a la dosis de fertilización fosfatada se obtuvieron comportamientos similares para el peso seco promedio en el primer y segundo corte del follaje. En ese sentido se observó que los resultados de la dosis 0 mg  $P_2O_5/kg$  (F1) fueron los mayores consecutivamente; aunque el comportamiento general es que la producción de materia seca disminuyó con la fertilización fosfatada. Es posible que la absorción del fósforo por la planta presentó interferencias por las concentraciones de Fe y Al en el suelo, ya que la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al contribuyen grandemente en la retención del fósforo añadido al suelo (Tisdale y Nelson, 1970).

Adicionalmente este parámetro fue mayor en el primer corte del follaje que en el segundo corte, posiblemente el tiempo que tuvo el SFT pulverizado en el suelo contribuyó en la retención del fósforo, según lo descrito por Fox et al. (1962) y Weil y Brady (2017), cuanto más tiempo permanece el fósforo aplicado al suelo será menos soluble, y, por lo tanto, tiende a convertirse en menos disponible para las plantas. Cabe resaltar que no se evidenció algún comportamiento para el peso seco en las raíces.

Para la interacción de Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada se observaron comportamientos similares para el primer corte de follaje, sin embargo al medir el efecto residual en el segundo corte si se produjeron diferencias, estas en general presentaron mejor peso en los tratamientos 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F1) y 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F2), lo cual sugiere que para la interacción, el efecto del nivel de encalado sobre el peso seco de follaje es más evidente que la fertilización fosfatada, esto podría deberse a los beneficios que aporta el encalado del suelo; de acuerdo a Tisdale y Nelson (1970), la cantidad de beneficios que se derivan de la aplicación de cal es mucho más amplia que lo que debería esperarse por una simple respuesta a la adición de un elemento nutriente deficiente.

Cabe resaltar que no se evidenció algún comportamiento para el peso seco en las raíces, según la interacción del Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada.

#### Primer corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas para los promedios de peso seco según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-24). De acuerdo a la prueba de comparación de medias, el nivel de encalado 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E1) presentó el mayor peso seco promedio con 11.06 g/maceta, siendo 3 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  E2 y 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) estadísticamente similares con 9.26 y 9.22 g/maceta respectivamente (Anexo 4: Tabla 4-25).

Asimismo se produjeron diferencias altamente significativas para los promedios según la dosis de fertilización, obteniéndose el mayor promedio con la dosis 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F1),

siendo 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F2) y 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F3) estadísticamente similares con 9.71 y 9.6 g/maceta respectivamente (Anexo 4: Tabla 4-26).

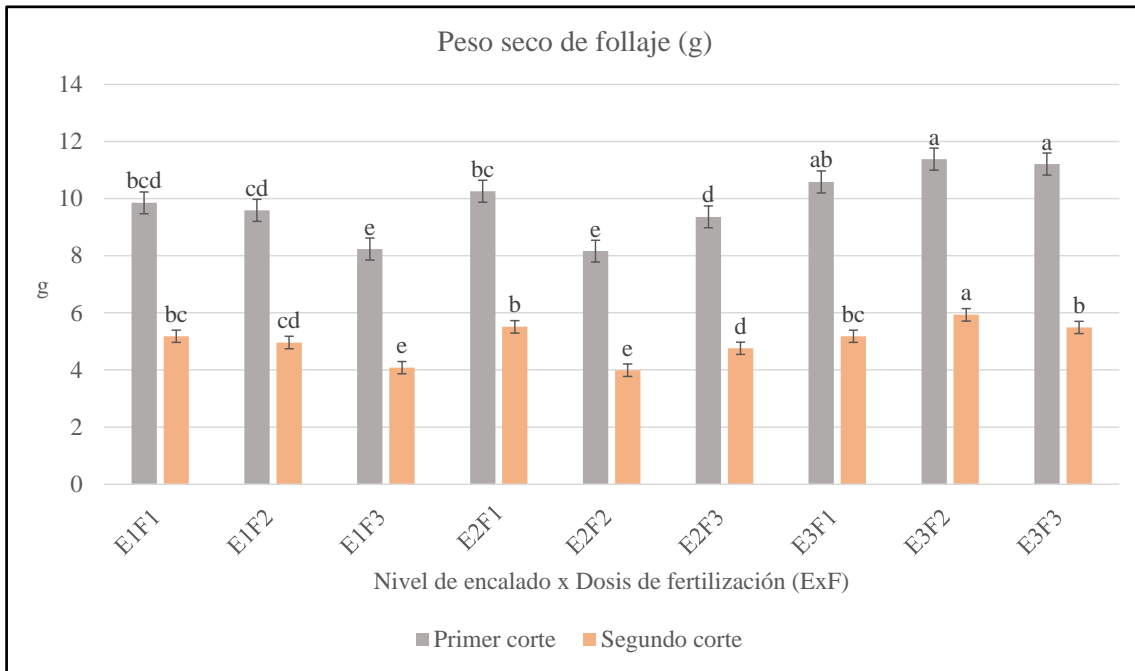
La interacción entre Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada presentó diferencias altamente significativas, siendo los mayores promedios los producidos por los tratamientos 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F3), 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F2) y 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F1); con 11.21, 11.28 y 10.58 g/maceta respectivamente (Anexo 4: Tabla 4-27).

#### Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

La prueba de análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas para los promedios según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-28). El mejor promedio se produjo en el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) con 5.53 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-29).

Según el análisis de varianza de los promedios según la dosis de fertilización fosfatada, se obtuvieron diferencias altamente significativas, asimismo la prueba de Tukey presentó a la dosis 0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F1) como la mejor, con 5.29 g/maceta y el menor promedio se obtuvo con 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F3) con 4.77 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-30).

Los promedios según la interacción entre Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, presentaron diferencias altamente significativas, siendo el mejor promedio 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F2) con 5.93 g/maceta (Anexo 4: Tabla 4-31).



**Figura 8:** Efecto de la interacción (ExF) en peso seco del ryegrass para el primer y segundo corte, en tratamientos con fuente FDA.

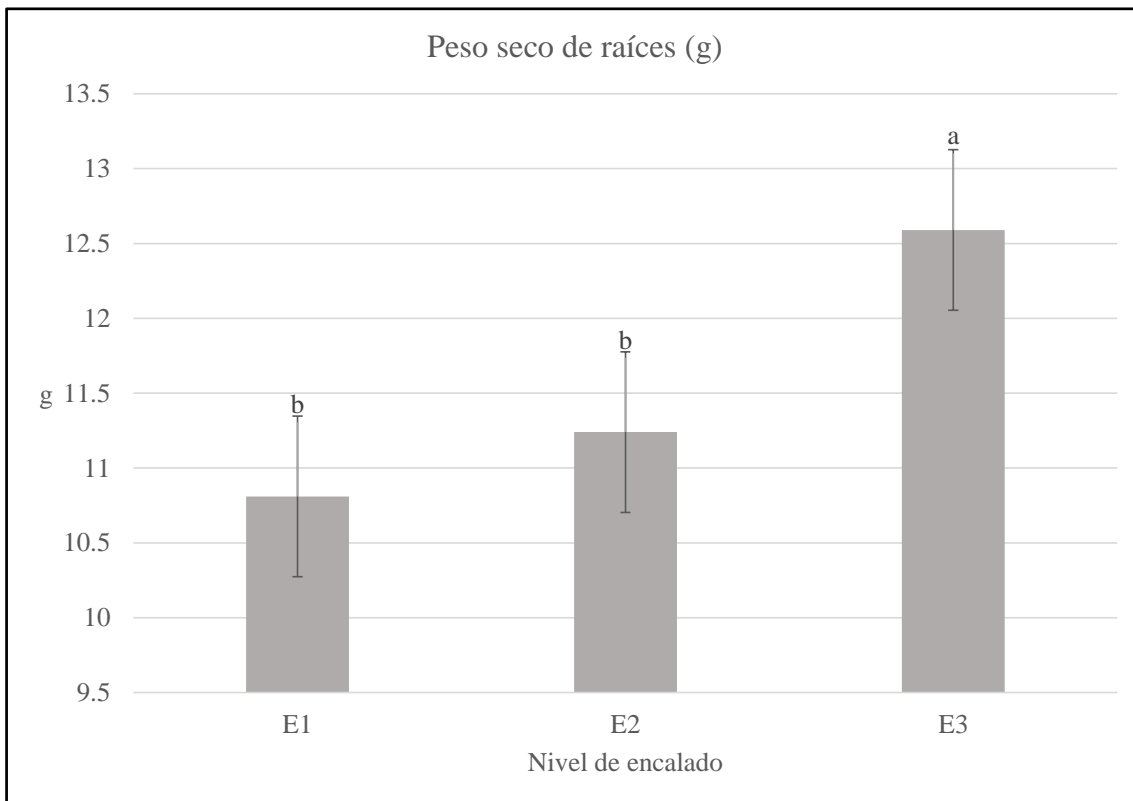
#### Peso seco de raíces para tratamientos con fuente FDA

Según el análisis de varianza para los promedios de peso seco de raíces según el nivel de encalado, se obtuvieron diferencias altamente significativas (Anexo 4: Tabla 4-32), siendo el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) con 12.59 g/maceta el que presentó el mayor peso seco promedio (Anexo 4: Tabla 4-33).

Asimismo, los promedios de peso seco de raíces según la dosis de fertilización fosfatada, no presentaron diferencias significativas; es decir la fertilización con FDA no tuvo efecto sobre este parámetro.

Por otra parte al evaluar la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, no se obtuvieron diferencias significativas.





**Figura 9:** Efecto del encalado sobre el peso seco de raíces del ryegrass, en tratamientos con fuente FDA.

Se produjeron comportamientos similares para el peso seco del follaje en el primer y segundo corte y para las raíces; en ese sentido se evidencia el efecto positivo de los niveles de encalado sobre el peso seco. Resultados similares fueron reportados por Vega (2014) y Rodríguez et al. (2014), que obtuvieron aumento en la producción de materia seca en pastos al encalar el suelo. De acuerdo con Fassbender (1984), el encalado trae una serie de efectos directos e indirectos entre ellos la mayor disponibilidad de nutrientes, esto se traduce en la planta como mayor peso seco.

Según la dosis de fertilización fosfatada se obtuvieron comportamientos similares para el peso seco promedio en el primer y segundo corte del follaje. Se observó que los resultados de la dosis 0 mg  $P_2O_5/kg$  (F1) fueron los mayores consecutivamente; aunque el comportamiento general es que la producción de materia seca disminuyó con la fertilización fosfatada. Es posible que la absorción del fósforo por la planta presentó interferencias por las concentraciones de Fe y Al en el suelo, ya que la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe

y Al contribuyen grandemente en la retención del fósforo añadido al suelo (Tisdale y Nelson, 1970).

Adicionalmente los resultados de este parámetro, fueron mayores en el primer corte del follaje que en el segundo corte, posiblemente el tiempo que tuvo el FDA pulverizado en el suelo contribuyó en la retención del fósforo, según lo descrito por Fox et al. (1962) y Weil y Brady (2017), cuanto más tiempo permanece el fósforo aplicado al suelo será menos soluble, y, por lo tanto, tiende a convertirse en menos disponible para las plantas. Cabe resaltar que no se evidenció algún comportamiento para el peso seco en las raíces.

Para la interacción de Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada se observaron comportamientos similares para el primer y segundo corte de follaje; donde el nivel de encalado 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) en todas las dosis de fertilización fosfatada, presentó los mejores promedios para el primer corte, y en general para el segundo corte se presentó mejor peso seco en 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F2), lo cual sugiere que para la interacción, el efecto del nivel de encalado sobre el peso seco de follaje es más evidente que la fertilización fosfatada, esto podría deberse a los beneficios que aporta el encalado del suelo; de acuerdo a Tisdale y Nelson (1970), la cantidad de beneficios que se derivan de la aplicación de cal es mucho más amplia que lo que debería esperarse por una simple respuesta a la adición de un elemento nutriente deficiente.

Cabe resaltar que no se evidenció algún comportamiento para el peso seco en las raíces, según la interacción del Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada

### 4.1.3. NÚMERO DE BROTES

La Tabla 10 presenta el resumen de resultados para esta variable.

**Tabla 10:** Número de brotes del ryegrass

	Fuente SFT		Fuente FDA	
Nivel de encalado	***		***	
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.46	b	2.56	c
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.53	b	3.13	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	3.23	a	4.41	a
Dosis de fertilización	.		*	
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.81		3.23	b
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.70		3.51	a
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.73		3.36	ab
Nivel de encalado x Dosis de fertilización	***		**	
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.37	cd	2.43	e
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.47	cd	2.60	de
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.53	cd	2.63	de
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.67	c	3.27	c
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.33	d	3.03	cde
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.6	cd	3.10	cd
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.4	a	4.00	b
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.3	ab	4.90	a
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.00	b	4.33	ab

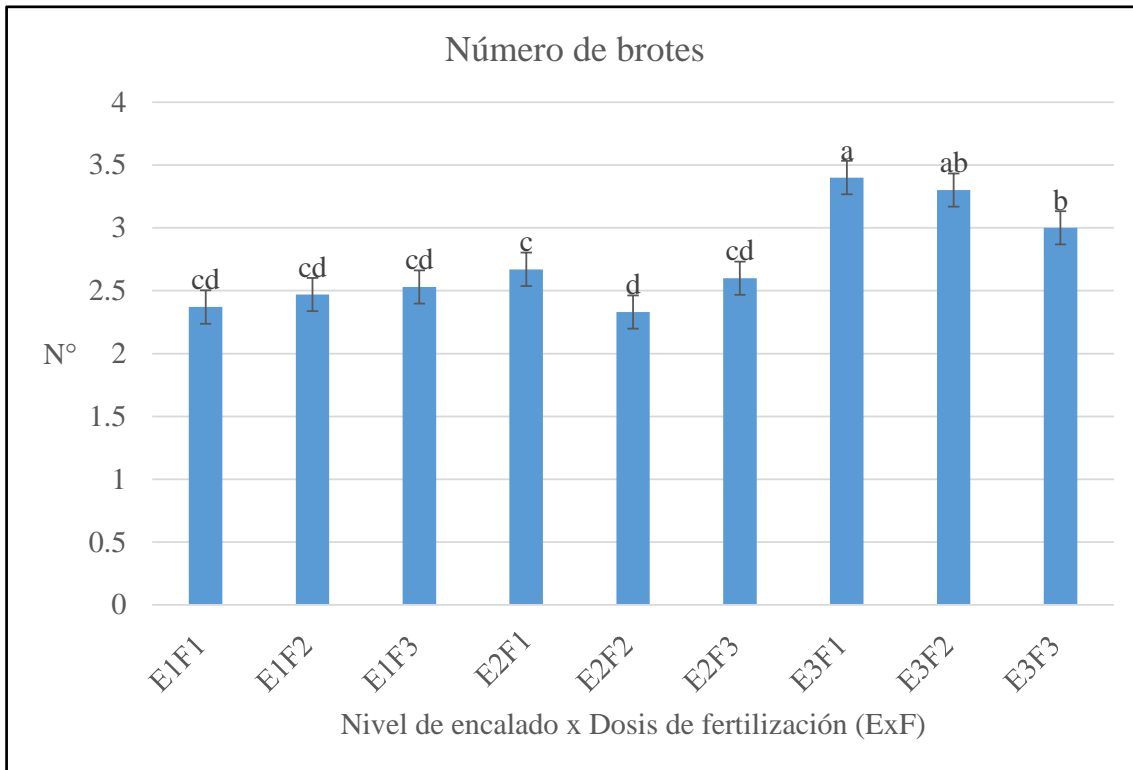
Significativo: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. No significativo: '.' 0.1 ' ' 1

#### Número de brotes para tratamientos con fuente SFT

El análisis de varianza presentó resultados altamente significativos ( $p < 0.001$ ) para el número de brotes promedio según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-34), donde el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) presentó el mayor promedio con 3.23 brotes por planta (Anexo 4: Tabla 4-35).

Asimismo no se presentaron diferencias significativas para los promedios según la dosis de fertilización, es decir la fertilización fosfatada no afectó el número de brotes promedio del ryegrass.

La interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada produjo diferencias altamente significativas, Siendo el tratamiento 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F1) el que produjo más brotes en promedio (Anexo 4: Tabla 4-36).



**Figura 10:** Efecto de la interacción (ExF) en el número de brotes del ryegrass en tratamientos con fuente SFT.

De acuerdo a las pruebas estadísticas se evidenció que el encalado presentó un efecto positivo sobre el número de brotes promedio, lo cual guarda relación con el efecto producido sobre la altura y la materia seca. En ese sentido, investigadores como Tisdale y Nelson (1970), Fassbender (1984) y Weil y Brady (2017); coinciden en que el encalado produce mejores rendimientos en las plantas; ya que aumenta el pH del suelo, mejora la disponibilidad de nutrientes, inactiva al Fe y Al, aporta calcio, entre otros beneficios.

La fertilización fosfatada con SFT no produjo efectos evidentes sobre el número de brotes, como se mencionó con anterioridad, es posible que las concentraciones de Fe y Al, así como el pH del suelo y el tiempo que estuvo el fertilizante en el suelo; interfirieron en la disponibilidad de fósforo para el ryegrass.

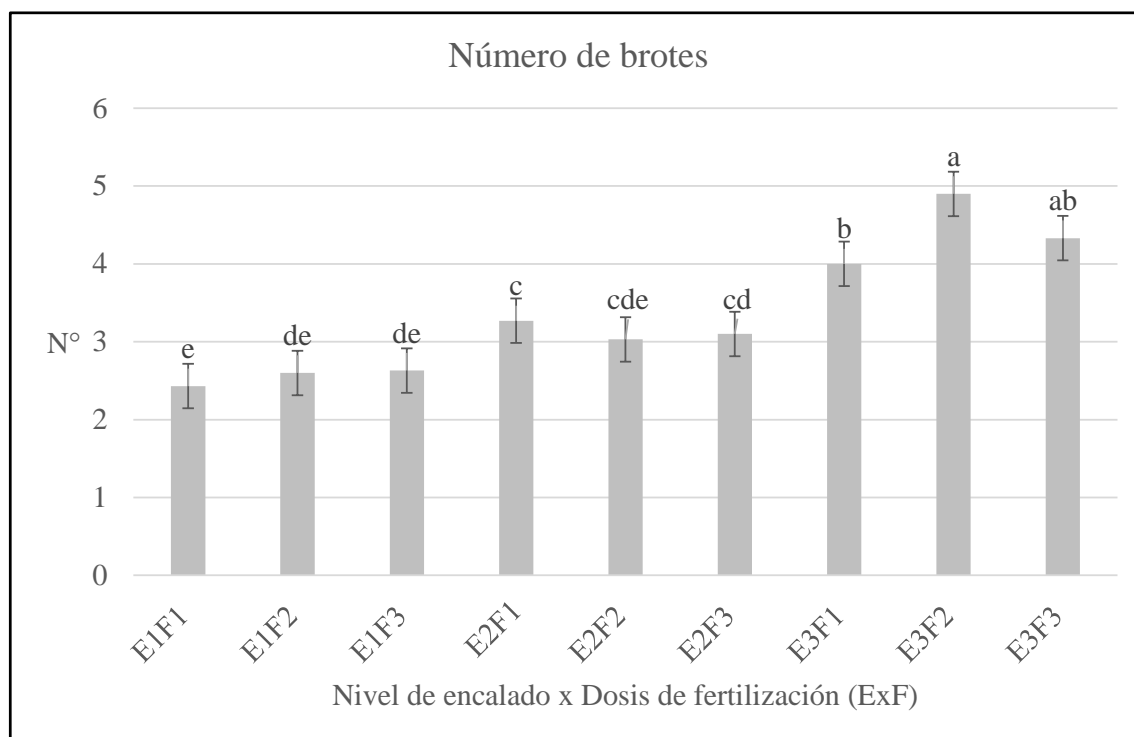
La interacción de Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, tuvo un comportamiento similar al obtenido para el peso seco, donde el encalado tuvo mayor relevancia en la interacción que la fertilización fosfatada (Figura 10).

### Número de brotes para tratamientos con fuente FDA

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas para el número de brotes según el nivel de encalado (Anexo 4: Tabla 4-37), los resultados de la prueba de comparación de medias presentó que el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) produjo el mayor promedio con 4.41 brotes/planta y el menor promedio se dio en 0 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E1) con 2.56 brotes/planta (Anexo 4: Tabla 4-38).

Asimismo los promedios del número de brotes según la dosis de fertilización, presentaron diferencias significativas. La prueba de medias presentó a la dosis 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (F2) como la que produjo el mayor promedio con 3.51 brotes/planta (Anexo 4: Tabla 4-39).

La interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA, presentó diferencias significativas. Asimismo los mayores promedios se produjeron con los tratamientos 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F2) y 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha x 500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (E3F3) con 4.9 y 4.33 brotes/planta respectivamente, y el menor promedio se presentó en E1F1 con 2.43 brotes/planta (Anexo 4: Tabla 4-40).



**Figura 11:** Efecto de la interacción (ExF) en el número de brotes del ryegrass, en tratamientos con fuente FDA.

Según las pruebas estadísticas se evidenció que el encalado presentó un efecto positivo sobre el número de brotes promedio, lo cual guarda relación con el efecto producido sobre la altura y la materia seca. En ese sentido, investigadores como Tisdale y Nelson (1970), Fassbender (1984) y Weil y Brady (2017); coinciden en que el encalado produce mejores rendimientos en las plantas; ya que aumenta el pH del suelo, mejora la disponibilidad de nutrientes, inactiva al Fe y Al, aporta calcio, entre otros beneficios.

La fertilización fosfatada con FDA no produjo efectos evidentes sobre el número de brotes, como se mencionó con anterioridad, es posible que las concentraciones de Fe y Al, así como el pH del suelo (3.92) y el tiempo que estuvo el fertilizante en el suelo; interfirieron en la disponibilidad de fósforo para el ryegrass.

La interacción de Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada, tuvo un comportamiento similar al obtenido para el peso seco, donde el encalado tuvo mayor relevancia en la interacción que la fertilización fosfatada (Figura 11)

## **4.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO**

### **4.2.1. EN EL RYEGRASS INGLÉS**

La Tabla 11 presenta el resumen de resultados para la concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el primer y segundo corte, y en raíces.

**Tabla 11:** Concentración de Pb en el ryegrass (mg/kg)

	Fuente SFT			Fuente FDA		
	Primer corte	Segundo corte	Raíces	Primer corte	Segundo corte	Raíces
Nivel de encalado			.	***	***	***
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	1.16	<0.01	55.63	3.27 a	23.12 a	59.06 a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.24	<0.01	55.02	1.12 b	19.36 b	58.28 a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	1.72	<0.01	48.27	<0.01 b	5.52 c	47.57 b
Dosis de fertilización	*		.		***	
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.71 a	<0.01	49.91	1.66 ab	13.55 b	55.31
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.30 b	<0.01	52.95	2.13 a	14.72 b	53.65
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.11 ab	<0.01	56.06	0.62 b	19.74 a	55.96
Interacción: Nivel de encalado x Dosis de fertilización	**			*	***	
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	1.48 ab	<0.01	52.35	2.56 ab	<0.01 d	59.36
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	<0.01 b	<0.01	55.84	5.42 a	2.85 d	57.30
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	1.98 ab	<0.01	58.68	1.85 b	13.71 c	60.52
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.83 a	<0.01	46.41	2.41 ab	20.03 b	59.41
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.89 ab	<0.01	58.69	0.96 b	18.63 bc	57.54
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	<0.01 b	<0.01	59.98	<0.01 b	19.43 b	57.90
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.82 ab	<0.01	50.95	<0.01 b	20.60 b	47.15
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	<0.01 b	<0.01	44.33	<0.01 b	22.68 ab	46.11
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.34 ab	<0.01	49.53	<0.01 b	26.09 a	49.45

Significativo: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05. No significativo: '.' 0.1 '.' 1

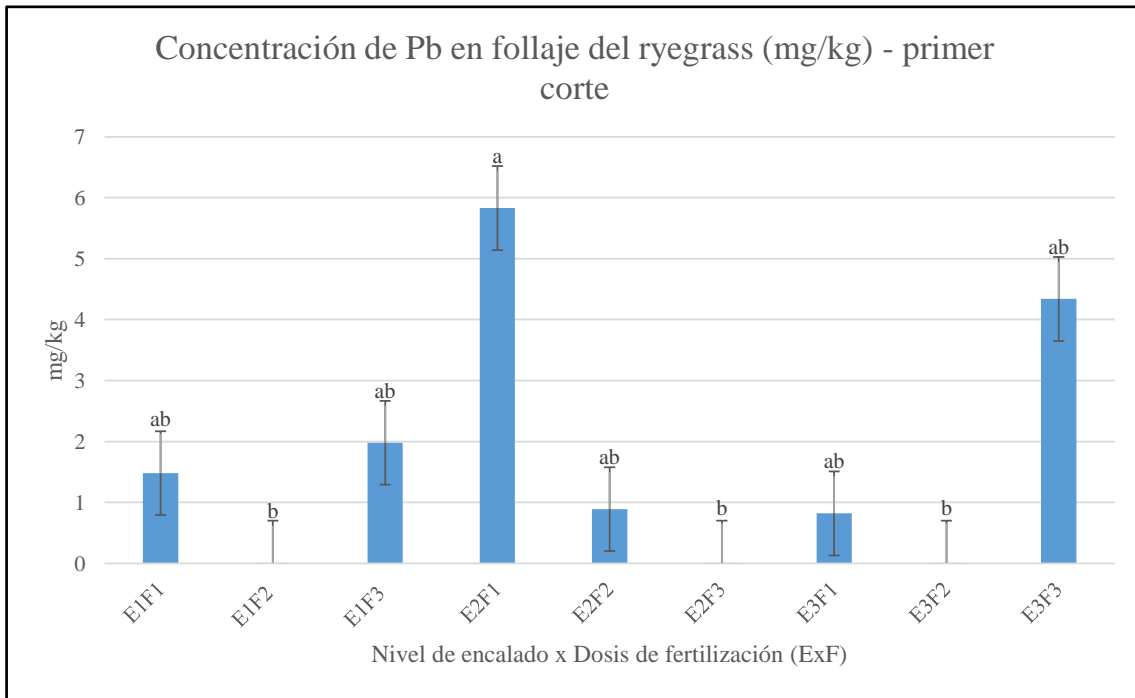


### Concentración de Pb - Primer corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

De acuerdo al análisis de varianza para el promedio de Pb según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-41), no se presentaron diferencias significativas para la concentración de Pb en el primer corte del follaje. Es decir los niveles de encalado no tuvieron efecto sobre la concentración de Pb en el primer corte del follaje.

Según el análisis de varianza, se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el promedio de concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el primer corte (Anexo 4: Tabla 4-42), es decir las dosis de fertilización fosfatada con SFT tuvieron efecto sobre la concentración de Pb en hojas y tallos. Sin embargo estas diferencias presentaron un  $R^2 = 67.7\%$ , lo cual indica que la variabilidad de los datos fue alta, esto se debe a que varios resultados presentaron concentraciones de Pb inferiores al límite de detección del método analítico (Anexo 3 –  $< 0.01$  mg/kg –). Según la prueba de media la dosis 0 mg  $P_2O_5$ /kg (F1) presentó la mayor concentración de Pb, con 2.71 mg/kg, asimismo la dosis 250 mg  $P_2O_5$ /kg (F2) presentó la menor concentración con 0.3 mg/kg. Cabe resaltar que la dosis 500 mg  $P_2O_5$ /kg (F3) presentó 2.11 mg/kg, resultado que estadísticamente es similar a las concentraciones obtenidas con 0 mg  $P_2O_5$ /kg (F1) y 250 mg  $P_2O_5$ /kg (F2).

El análisis de varianza (Anexo 4: Tabla 4-41) del promedio de la concentración de Pb en el primer corte del follaje, como respuesta del ryegrass a la interacción: Nivel de encalado x Dosis fertilización fosfatada con SFT, presentó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ); es decir el tratamiento tuvo efecto sobre la concentración de Pb en el follaje. Sin embargo también existió alta variabilidad de datos, debido a que muchos tuvieron concentraciones inferiores al límite de detección del método analítico (Anexo 3 -  $< 0.01$  mg/kg -); esto se ve reflejado en el  $R^2 = 67\%$ . Asimismo, según la prueba de medias, la mayor concentración promedio de Pb se obtuvo con el tratamiento 3 t  $CaCO_3$ /ha x 0 mg  $P_2O_5$ /kg (E2F1), con 5.83 mg/kg; y las menores concentraciones se presentaron en los tratamientos 0 t  $CaCO_3$ /ha x 250 mg  $P_2O_5$ /kg (E1F2), 3 t  $CaCO_3$ /ha x 500 mg  $P_2O_5$ /kg (E2F3) y 6 t  $CaCO_3$ /ha x 250 mg  $P_2O_5$ /kg (E3F2), todos presentaron concentraciones inferiores al límite de detección (Anexo 4: Tabla 4-43).



**Figura 12:** Efecto de la interacción (ExF) en la concentración de Pb en el follaje del ryegrass – primer corte, en tratamientos con fuente SFT.

### Concentración de Pb - Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente SFT

La concentración promedio de Pb en el segundo corte de follaje para cada nivel de encalado en general presentó resultados no detectables (Anexo 3):

- E1 (0 t CaCO<sub>3</sub>/ha) No detectable (< 0.01 mg/kg)
- E2 (3 t CaCO<sub>3</sub>/ha) No detectable (< 0.01 mg/kg)
- E3 (6 t CaCO<sub>3</sub>/ha) No detectable (< 0.01 mg/kg)

Se observa claramente que no se presentaron diferencias significativas en estos resultados, es decir la concentración de Pb para el segundo corte de follaje según los niveles de encalado, presentaron resultados analíticos similares y todos inferiores al límite de detección.

La concentración promedio de Pb en el segundo corte de follaje para cada dosis de fertilización en general presentó resultados no detectables (Anexo 3):

- F1 (0 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg) SFT                      No detectable (< 0.01 mg/kg)
- F2 (250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg) SFT                      No detectable (< 0.01 mg/kg)
- F3 (500 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg) SFT                      No detectable (< 0.01 mg/kg)

Se observa claramente que no se presentaron diferencias significativas en estos resultados, es decir la concentración de Pb para el segundo corte de follaje según las dosis de fertilización con SFT, presentaron resultados analíticos similares y todos inferiores al límite de detección.

Asimismo, la concentración promedio de Pb en el segundo corte del follaje; para todas las interacciones de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada; presentó concentraciones inferiores al límite de detección del método analítico en todos los resultados. Es decir tienen una marcada tendencia a ser casi cero en todos los casos e interacciones.

De acuerdo a los resultados en general para el primer y segundo corte, se observa un comportamiento diferenciado entre las concentraciones de Pb en el follaje del ryegrass, donde para el primer corte no se observa una tendencia clara para la concentración de Pb según los tratamientos (Figura 12), sin embargo para el segundo corte en general las concentraciones de Pb son inferiores al límite de detección del método analítico. En ese sentido estos resultados concuerdan con lo descrito por Kabata-Pendias (2010) y Kaluđerović (2001), ellos describen que el SFT tiene mejor efecto estabilizador del Pb en el suelo que otras fuentes fosfatadas, en ese sentido se podría inferir que el SFT tuvo efecto estabilizador del Pb en el suelo y por ello la translocación de Pb resulto no detectable para el segundo corte.

#### Concentración de Pb - Concentración de plomo en raíces para tratamientos con fuente SFT

De acuerdo al análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas en los promedios de la concentración de Pb en raíces del ryegrass según los niveles de encalado; es decir el encalado no tuvo efecto sobre la concentración de Pb en las raíces del ryegrass (Anexo 4: Tabla 4-44).

Según el análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas para los promedios de la concentración de Pb en raíz del ryegrass, según las dosis de fertilización fosfatada con SFT; es decir la fertilización fosfatada con SFT no tuvo efecto sobre la concentración de Pb en las raíces del ryegrass (Anexo 4: Tabla 4-44).

Asimismo, el análisis de varianza para el promedio de la concentración de Pb en raíz del ryegrass para la interacción: Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con SFT, no presentó diferencias significativas (Anexo 4: Tabla 4-44); es decir la concentración promedio de Pb en las raíces del ryegrass no fue afectada por la interacción.

Los resultados en general no fueron estadísticamente diferentes, sin embargo la distribución de las concentraciones de Pb en las raíces concuerda con lo descrito por Kabata-Pendias (2007), la transferencia de Pb en las plantas es muy limitada y en gran proporción se acumula en las raíces. Asimismo Liu et al. (2003), reportó gran variación en la distribución de Pb, donde las concentraciones de Pb fueron mucho mayores en las raíces antes que en las hojas.

#### Concentración de Pb - Primer corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

De acuerdo al análisis de varianza, se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) para el promedio de Pb en el primer corte del follaje según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-45); es decir estadísticamente los niveles de encalado tuvieron efecto sobre la concentración de Pb en follaje. De acuerdo a la prueba de medias (Anexo 4: Tabla 4-46) la mayor concentración de Pb se obtuvo en el nivel de encalado 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E1), con 3.27 mg/kg; y las menores concentraciones se presentaron en los niveles 3 t  $\text{CaCO}_3$  (E2) y 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) con 1.12 y  $< 0.01$  mg/kg respectivamente, siendo estos últimos estadísticamente similares.

Según el análisis de varianza (Anexo 4: Tabla 4-45), no se presentaron diferencias significativas entre los promedios de la concentración de Pb en el primer corte del follaje, es decir todas las dosis de fertilización con FDA presentaron en promedio una concentración de Pb estadísticamente similar.

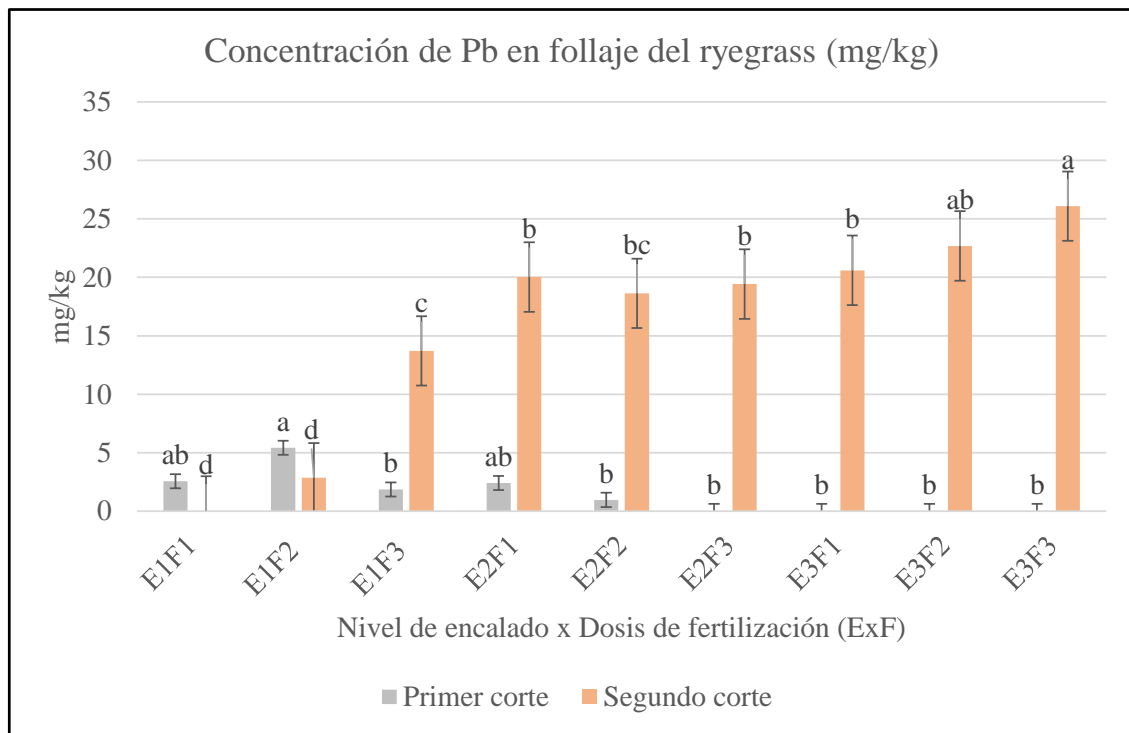
El análisis de varianza de la concentración promedio de Pb en el primer corte del follaje, como respuesta del ryegrass a la interacción: Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA (Anexo 4: Tabla 4-45), presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ); es decir los tratamientos tuvieron efecto sobre la concentración de Pb en el primer corte del follaje. De acuerdo a la prueba de medias (Anexo 4: Tabla 4-47) el tratamiento 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E1F2) presentó la mayor concentración de Pb, con 5.42 mg/kg. Asimismo los tratamientos con menor concentración fueron: 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 500 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E1F3) con 1.85 mg/kg, 3 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E2F2) con 0.96 mg/kg; y E2F3, E3F1, E3F2, E3F3 con concentraciones inferiores al límite de detección del método analítico ( $< 0.01 \text{ mg/kg}$ ).

#### Concentración de Pb - Segundo corte de follaje para tratamientos con fuente FDA

Según el análisis de varianza en función a los resultados de los niveles de encalado (Tabla Anexo 4: 4-48), se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en los promedios de la concentración de Pb en el segundo corte del follaje. De acuerdo a la prueba de medias (Anexo 4: Tabla 4-49), el nivel 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) presentó la mayor concentración de Pb promedio, con 23.12 mg/kg y la menor concentración se presentó en el nivel 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E1), con 5.52 mg/kg (Figura 13).

En el análisis de varianza se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en la concentración promedio de Pb en el segundo corte del follaje, según la dosis de fertilización con FDA (Anexo 4: Tabla 4-48), es decir la fertilización con FDA tuvo un efecto en la concentración promedio de Pb en el segundo corte. De acuerdo a la prueba de media, la dosis 500 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F3) presentó la mayor concentración de Pb, con 19.74 mg/kg; y las dosis 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F1) y 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (F2) presentaron las menores concentraciones de Pb, con 13.55 y 14.72 mg/kg respectivamente, siendo estos últimos estadísticamente similares (Anexo 4: Tabla 4-50).

De acuerdo al análisis de varianza para evaluar la interacción: Niveles de encalado y Dosis de fertilización fosfatada, se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) de manera conjunta (Anexo 4: Tabla 4-48), es decir la interacción de encalado y fertilización fosfatada tuvieron un efecto conjunto sobre la concentración promedio de Pb en el ryegrass para el segundo corte. Según la prueba de medias (Anexo 4: Tabla 4-51) los tratamientos 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 500 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F3) y 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E3F2) con 26.09 y 22.68 respectivamente, presentaron las mayores concentraciones promedio; los tratamientos 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 250 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E1F2) y 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  x 0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$  (E1F1) presentaron las menores concentraciones, con 2.85 y  $< 0.01$  mg/kg respectivamente, siendo estos últimos estadísticamente similares (Figura 13).



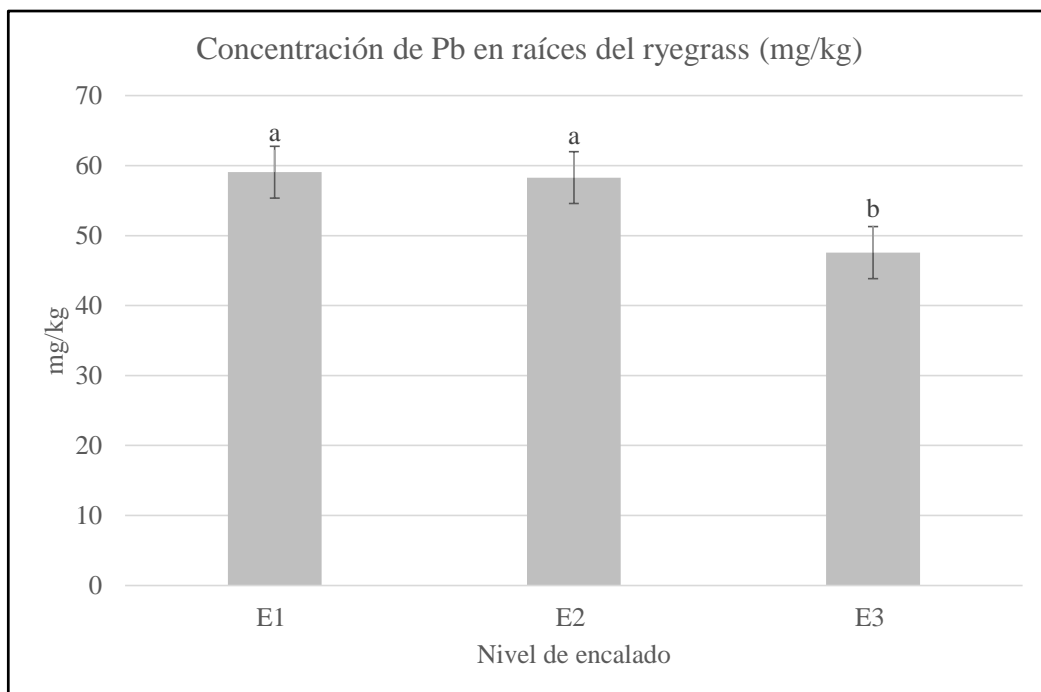
**Figura 13:** Concentración promedio de Pb en hojas y tallos, según la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA

Según a los resultados para el primer y segundo corte de follaje, se puede apreciar que existe un comportamiento claramente diferenciado para la concentración de Pb en follaje; donde para el primer corte las concentraciones en general son bajas en comparación al segundo corte y las mayores concentraciones se aprecian en el nivel de encalado 0 t/ha; en contraste el comportamiento para el segundo corte cambia totalmente, se observa que a medida que

aumenta el nivel de encalado y la dosis de fertilización, también aumenta la concentración de Pb en el follaje. En ese sentido estos resultados concuerdan con lo reportado por Alfaro (2004) en su estudio de Bioacumulación de Pb en ryegrass, ya que existe translocación de Pb por parte del ryegrass y esta a su vez aumenta en suelos con encalado, asimismo la fertilización fosfatada con FDA parece contribuir en la translocación de Pb al follaje en el segundo corte, de acuerdo a Kaluđerović (2001) el FDA no es muy efectivo para precipitar el Pb del suelo.

#### Concentración de Pb - Concentración de plomo en raíces para tratamientos con fuente FDA

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 4: Tabla 4-52) se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) entre los promedios de la concentración Pb en la raíz del ryegrass, según los niveles de encalado; es decir el encalado tuvo efecto sobre la concentración promedio de Pb en las raíces del ryegrass. Asimismo de acuerdo a la prueba de medias (Anexo 4: Tabla 4-53), las mayores concentraciones de Pb en raíces se presentaron en los niveles 0 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E1) y 3 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E2), con 59.06 y 58.28 mg/kg respectivamente; y la menor concentración se presentó en el nivel 6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  (E3) con 47.57 mg/kg.



**Figura 14:** Concentración promedio de Pb en raíces, según el nivel de encalado

El análisis de varianza para los resultados de acuerdo a las dosis de fertilización con FDA, no presentó diferencias significativas entre los promedios de la concentración de Pb en la raíz del ryegrass, es decir la fertilización con FDA no tuvo efecto sobre la concentración de Pb en raíces (Anexo 4: Tabla 4-52).

No se presentaron diferencias significativas entre los promedios de Concentración de Pb en raíces del ryegrass, según la interacción de Nivel de encalado x Dosis de fertilización, es decir la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA no tuvo efecto sobre la concentración de Pb en raíces (Anexo 4: Tabla 4-52).

Los resultados mostraron que solo el encalado tuvo efecto sobre la concentración de Pb en raíces, aunque solo para el mayor nivel de encalado. De acuerdo a lo reportado por Alfaro (2004) en su estudio de Bioacumulación de Pb en ryegrass anual y perenne, encontró que el ryegrass que creció en suelos con encalado presentaron mayor Bioacumulación de Pb. Asimismo, estos resultados concuerdan con lo descrito por Kabata-Pendias (2007), la transferencia de Pb en las plantas es muy limitada y en gran proporción se acumula en las raíces. Liu et al. (2003), reportó gran variación en la distribución de Pb, donde las concentraciones de Pb fueron mucho mayores en las raíces antes que en las hojas.



#### 4.2.2. EN LA MUESTRA DE SUELO

En la Tabla 12 se presentan el resumen de resultados para esta variable.

**Tabla 12:** Concentración final de Pb en suelo (mg/kg)

	Fuente SFT	Fuente FDA
Nivel de encalado	.	.
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	702.70	721.46
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	693.51	709.02
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	744.03	722.91
Dosis de fertilización	.	.
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	709.38	719.79
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	707.54	736.95
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	724.29	696.64
Nivel de encalado x Dosis de fertilización	.	.
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	682.97	751.90
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	715.94	722.56
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	709.20	689.93
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	701.64	689.10
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	688.56	743.63
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	690.34	694.33
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	741.34	718.39
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	717.90	744.66
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	772.81	705.67

Significativo: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. No significativo: '.' 0.1 ' ' 1

#### Concentración final de plomo en suelo para tratamientos con fuente SFT

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 4: Tabla 4-54) no se presentaron diferencias significativas entre los promedios de la concentración final de Pb en el suelo, según los niveles de encalado, la dosis de fertilización fosfatada o la interacción de ambos; es decir no presentaron efecto sobre la concentración final de Pb en el suelo, en ese sentido se puede entender que la cantidad de Pb extraído por el ryegrass fue mínima.

Es posible que a pesar de que el suelo presentó altas concentraciones de Pb total, presente una baja concentración de Pb disponible, ya que según lo descrito por Kabata-Pendias (2010), el Pb principalmente es adsorbido por la materia orgánica. En ese sentido el alto porcentaje de materia orgánica del suelo (14.65) involucra una retención importante de este elemento.

### Concentración final de plomo en suelo para tratamientos con fuente FDA

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 4: Tabla 4-55) no se presentaron diferencias significativas entre los promedios de la concentración final de Pb en el suelo, según los niveles de encalado, la dosis de fertilización fosfatada o la interacción de ambos; es decir no presentaron efecto sobre la concentración final de Pb en el suelo, en ese sentido se puede entender que la cantidad de Pb extraído por el ryegrass fue mínima.

Considerando que el suelo presentó altas concentraciones de Pb total, es posible que presente una baja concentración de Pb disponible. Según lo descrito por Kabata-Pendias (2010), el Pb principalmente es adsorbido por la materia orgánica. En ese sentido el alto porcentaje de materia orgánica del suelo (14.65) involucra una retención importante de este elemento.

### 4.3. FACTOR BIOCOCENTRACIÓN

En la Tabla 13 se presenta el resumen de los resultados para esta variable.

**Tabla 13:** Factor de Bioconcentración

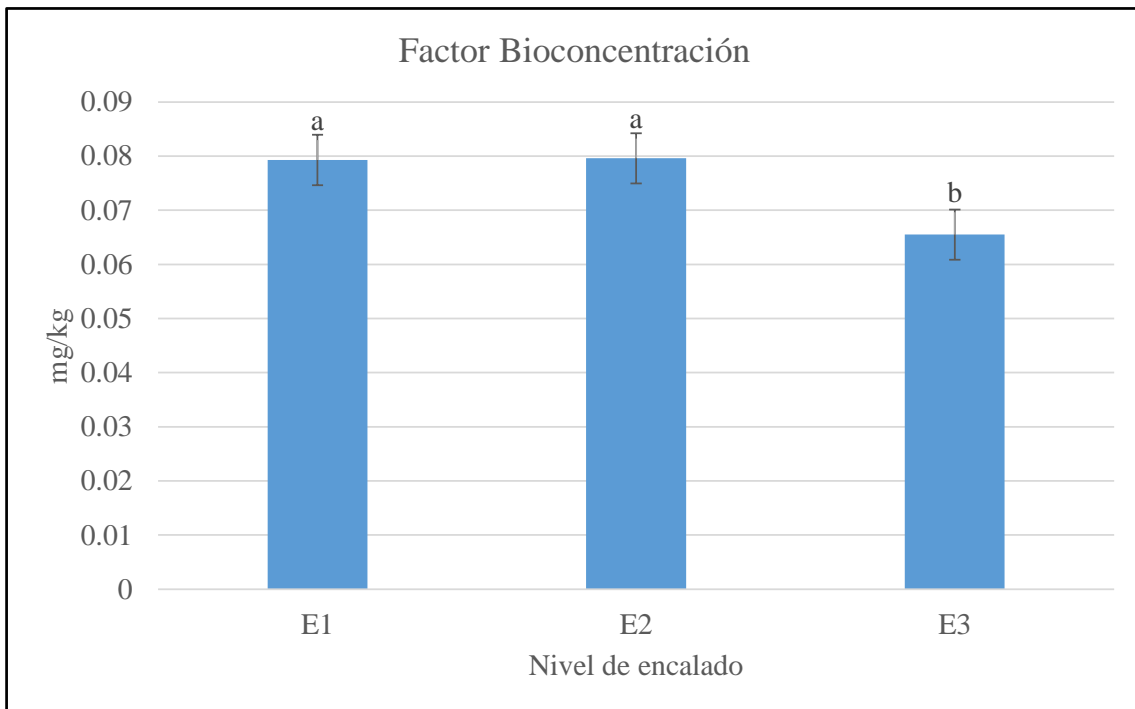
	Fuente SFT		Fuente FDA	
Nivel de encalado	*		***	
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0793	a	0.0822	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0796	a	0.0824	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0655	b	0.0659	b
Dosis de fertilización			.	
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0710		0.0770	
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0752		0.0731	
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0782		0.0804	
Nivel de encalado x Dosis de fertilización				
E1F1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0767		0.0791	
E1F2 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0784		0.0797	
E1F3 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0828		0.0878	
E2F1 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0664		0.0862	
E2F2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0853		0.0774	
E2F3 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0870		0.0835	
E3F1 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0699		0.0656	
E3F2 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0620		0.0621	
E3F3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha x 500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.0648		0.0700	

Significativo: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05. No significativo: ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

#### Factor Bioconcentración para tratamientos con fuente SFT

De acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los promedios del FBC, según los niveles de encalado; es decir el encalado tuvo efecto sobre el promedio del FBC del ryegrass (Anexo 4: Tabla 4-56). Según la prueba de medias, los niveles 0 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E1) y 3 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E2), presentaron los mayores FBC con 0.0793 y 0.0796 respectivamente; y el menor FBC se presentó en el nivel 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3), con 0.0655 (Anexo 4: Tabla 4-57 y Figura 15).

Asimismo, el FBC promedio para las dosis de fertilización y la interacción de los Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada no presentaron diferencias significativas, es decir no tuvieron efecto sobre el FC promedio del ryegrass.



**Figura 15:** Efecto del encalado sobre el Factor Bioconcentración del ryegrass según el nivel de encalado.

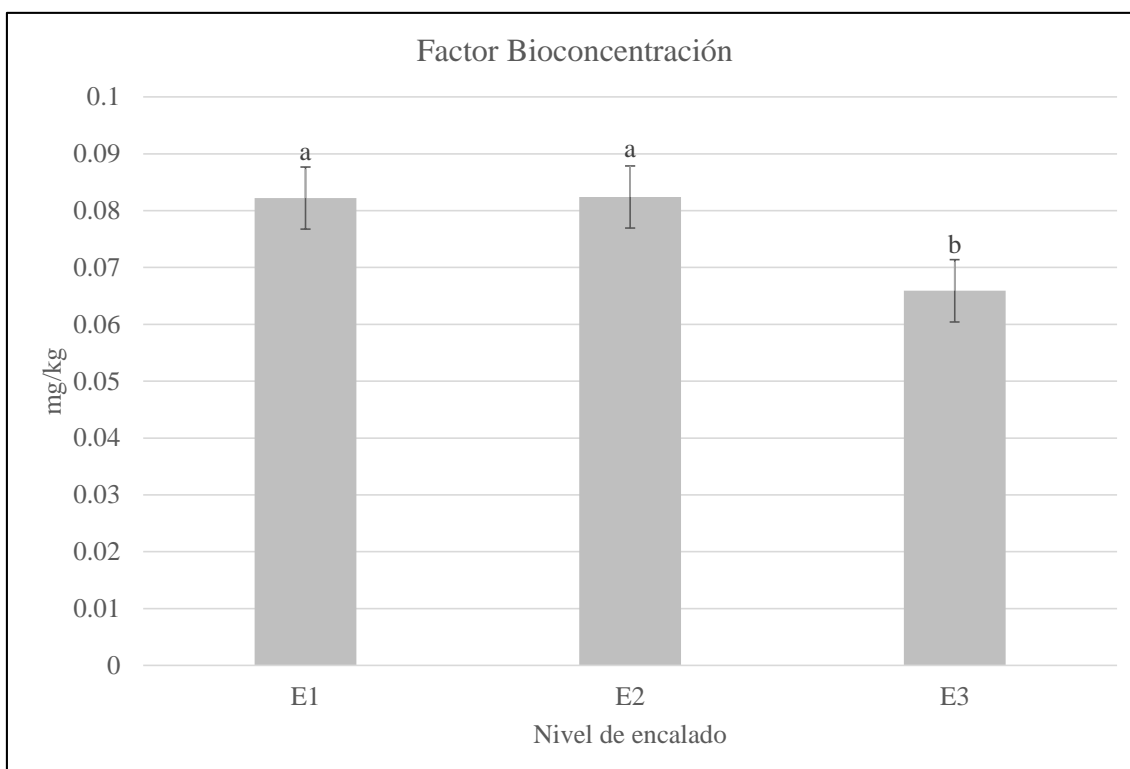
Según los resultados obtenidos, el ryegrass se comportó como planta excluyente ( $FBC < 1$ ) en todos los niveles de encalado, es decir tuvo una restringida absorción de Pb; sin embargo la respuesta del ryegrass entre niveles de encalado, evidenció un comportamiento claro, donde el mayor nivel de encalado produjo menor promedio de FBC. En ese sentido, se entiende que el plomo extraído y traslocado al follaje proviene del suelo, específicamente de la fracción soluble; se sugiere que la fracción soluble de Pb al reaccionar con la cal bien pudo disminuir su concentración en solución. De acuerdo con Filius et al. (1998) y McBride et al. (1997): Las enmiendas alcalinas reducen la solubilidad de los metales pesados en el suelo al aumentar el pH del suelo y concomitantemente al aumento de la adsorción de metales en las partículas del suelo. Adicionalmente al aumento de pH del suelo, el buffer de carbonato puede conducir a la formación de precipitados de carbonato de metal, complejos y minerales secundarios (Chlopecka and Adriano, 1996; McBride, 1989; Mench et al., 1994) que disminuye la solubilidad del metal y reduce su transporte.

### Factor Bioconcentración para tratamientos con fuente FDA

De acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron diferencias altamente significativas en los FBC promedio según los niveles de encalado (Anexo 4: Tabla 4-58); es decir el encalado tuvo efecto sobre el promedio del FBC del ryegrass. Según la prueba de medias el Nivel de encalado 6 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E3) presentó el menor FBC promedio con 0.0659, y los mayores promedios se obtuvieron en los niveles 0 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E1) y 3 t CaCO<sub>3</sub>/ha (E2), con 0.0822 y 0.0824 respectivamente (Anexo 4: Tabla 4-59).

El análisis de varianza para los FBC promedio no presentó diferencias significativas, según las dosis de fertilización con FDA; es decir las dosis de fertilización fosfatada con FDA no tuvieron efecto sobre el promedio del FBC del ryegrass.

Asimismo el análisis de varianza de los promedios del FBC para la interacción: Niveles de encalado x Dosis de fertilización fosfatada con FDA, no presentó diferencias significativas, es decir los tratamientos no tuvieron efecto sobre el FBC del ryegrass.



**Figura 16:** Factor Bioconcentración del ryegrass según el nivel de encalado.

Según los resultados obtenidos, el ryegrass se comportó como planta excluyente ( $FBC < 1$ ) en todos los niveles de encalado, es decir tuvo una restringida absorción de Pb; sin embargo la respuesta del ryegrass entre niveles de encalado, evidenció un comportamiento claro (Figura 16), donde el mayor nivel de encalado produjo menor promedio de FBC. En ese sentido, se entiende que el plomo extraído y translocado al follaje proviene del suelo, específicamente de la fracción soluble; se sugiere que la fracción soluble de Pb al reaccionar con la cal bien pudo disminuir su concentración en solución. De acuerdo con Filius et al. (1998) y McBride et al. (1997): Las enmiendas alcalinas reducen la solubilidad de los metales pesados en el suelo al aumentar el pH del suelo y concomitantemente al aumento de la adsorción de metales en las partículas del suelo. Adicionalmente al aumento de pH del suelo, el buffer de carbonato puede conducir a la formación de precipitados de carbonato de metal, complejos y minerales secundarios (Chlopecka y Adriano, 1996; McBride, 1989; Mench et al., 1994) que disminuye la solubilidad del metal y reduce su transporte.

## **V. CONCLUSIONES**

### **5.1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS - FOLLAJE**

#### **5.1.1. Encalado**

El encalado no presentó efecto sobre la concentración de Pb en el follaje en los tratamientos con SFT para el primer corte, resaltando que los resultados presentaron alta variabilidad; para el segundo corte las concentraciones de Pb en follaje en general fueron no detectables. Asimismo, para los tratamientos con FDA para el primer corte, el encalado tuvo efecto sobre la concentración de Pb, siendo mayor en los tratamientos sin encalado, resaltando también que los resultados presentaron alta variabilidad, sin embargo para el segundo corte se concluye que el encalado contribuyó en el aumento de la concentración de Pb en follaje.

#### **5.1.2. Fertilización fosfatada**

La fertilización con SFT tuvo efecto sobre la concentración de Pb en el primer corte de follaje, en donde la no fertilización presentó las concentraciones más altas, sin embargo los resultados presentaron alta variabilidad; para el segundo corte las concentraciones de Pb en follaje en general fueron no detectables. Asimismo la fertilización con FDA no presentó efecto sobre la concentración de Pb en follaje para el primer corte, resaltando que los resultados presentaron alta variabilidad; en el segundo corte la mayor dosis de fertilización presentó las mayores concentraciones de Pb en follaje.

### 5.1.3. Interacción: Nivel de encalado x Dosis de fertilización fosfatada

La concentración de Pb en el follaje del ryegrass según la interacción, en general presentaron resultados con alta variabilidad para el primer corte en las fuentes fosfatadas SFT o FDA, en ese sentido la respuesta del ryegrass no se evidenció claramente; sin embargo en el segundo corte los resultados presentaron una tendencia claramente diferenciada, obteniéndose para todos los tratamientos con SFT concentraciones de Pb en follaje inferiores al límite de detección del método analítico y para los tratamientos con FDA se evidenció que los resultados presentaron mayor concentración de Pb en follaje con el aumento del nivel de encalado y fertilización con FDA.

## **5.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RYEGRASS - RAÍCES**

### 5.2.1. Encalado, Fertilización e Interacción

Para los tratamientos con SFT la concentración de Pb en raíces no fue afectada por el encalado, la fertilización fosfatada o la interacción. Sin embargo en los tratamientos con FDA, la fertilización y la interacción no tuvieron efecto sobre la concentración de Pb en raíces, sin embargo el mayor nivel de encalado presentó la menor concentración de Pb en raíces.

## **5.3. CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO EN LA MUESTRA DE SUELO**

### 5.3.1. Encalado, Fertilización e Interacción

La concentración final de Pb en el suelo no fue afectada por el encalado, fertilización fosfatada con SFT o FDA, o la interacción; esto debido a que la bioacumulación de Pb por el ryegrass fue baja.



## **5.4. RESPUESTA DEL RYEGRASS A LOS TRATAMIENTOS**

### **5.4.1. ENCALADO**

En los tratamientos con SFT, el encalado tuvo efecto positivo sobre la altura en el primer corte y sobre el peso seco de follaje en el primer y segundo corte; asimismo favoreció el número de brotes, peso seco promedio de raíces. En los tratamientos con FDA el encalado produjo un efecto positivo sobre la altura en el primer y segundo corte, sobre el peso seco de follaje en el primer y segundo corte; favoreció el número de brotes, el peso seco promedio de raíces. Asimismo, para los tratamientos con SFT o FDA, el mayor nivel de encalado (6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ) disminuyó el Factor Bioconcentración, aunque para ambos casos el ryegrass se comportó como planta excluyente bajo las condiciones de este experimento, se resalta que los resultados presentaron alta variabilidad.

### **5.4.2. FERTILIZACIÓN FOSFATADA**

La fertilización fosfatada con SFT o FDA, no produjeron mejores promedios para la altura en el primer o el segundo corte, peso seco de follaje en el primer o segundo corte; asimismo no presentaron diferencias significativas para el promedio del peso seco de raíces y número de brotes, asimismo no produjo efecto sobre el Factor Bioconcentración.

### **5.4.3. INTERACCIÓN: NIVEL DE ENCALADO X DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA**

Los tratamientos con SFT afectaron la altura del ryegrass en el primer corte, aparentemente el efecto positivo del encalado fue disminuido por el efecto de la fertilización con SFT; para el segundo corte no se produjeron efectos sobre la altura. El peso seco del primer corte no fue afectado por la interacción, sin embargo para el segundo corte se obtuvo significancias por la interacción, donde el mayor nivel de encalado (6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ) y la menor dosis de fertilización (0 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$ ) produjeron el mejor peso seco. El peso seco de raíces no fue afectado por la interacción, el número de brotes fue superior en el mayor nivel de encalado (6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ) en todas las dosis de fertilización, el Factor de Bioconcentración no fue afectado por la interacción.

Los tratamientos con FDA afectaron la altura del ryegrass en el primer corte, donde la mejor respuesta del ryegrass se produjo en el mayor nivel de encalado (6 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ ) en todas las

dosis con FDA, aunque para el segundo corte no se produjeron efectos sobre la altura.; el peso seco de follaje en el primer corte fue afectado por la interacción, donde los mayores resultados se produjeron en el (6 t CaCO<sub>3</sub>/ha) mayor nivel de encalado y mayor dosis de FDA (500 mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg), para el segundo corte el mejor promedio se presentó en el mayor nivel de encalado (6 t CaCO<sub>3</sub>/ha) y la dosis media de FDA (250 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg); el peso seco de raíces no fue afectado por la interacción, sin embargo el número de brotes fue mayor en el mayor nivel de encalado (6 t CaCO<sub>3</sub>/ha) en todas las dosis de fertilización. Finalmente el factor de bioconcentración no fue afectado por la interacción.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

Adelino, M. 2010. Estudio de las anomalías geoquímicas en los suelos de la provincia de Jaén. Tesis Ph. D. Medio Ambiente Tecnología de la Producción. España, Universidad de Sevilla. 112 p.

Adriano, D; Wenzel, W; Vangronsveld, J; Bolan, N. 2004. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma* 122: 121-142.

Alfaro, P. 2004. Evaluación de factores edáficos que determinan la bioacumulación de plomo (Pb) en rye grass anual (*Lolium multiflorum*) y Rye grass perenne (*Lolium perenne* L.), Tesis Magister Scientiae, Escuela de Post-grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Aguilar, J; Dorronsoro, C; Fernández, E; Fernández, J; García, I; Martín, F; Simón, M. 2004. Remediation of Pb-contaminated soils in the Guadimar river basin (SW Spain). *Water Air Soil Pollut.* 151: 323–333.

Alloway, B. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall. London, England. 368 p.

Becerril, J; Barrutia, O; García, J; Hernández, A; Olano, J; Garbisu, C. 2007. Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas revista científica de ecología y medio ambiente.* 16: 50-55.

Bech, J; Poschenrieder, C; Barceló, J; Lansac, A. 2002. Plants from mine spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm, for Phytoremediation Technologies. *Acta Biotechnol.* 22: 1-2, 5-11.

Bhopal, R. 2008. Concepts of Epidemiology Integrating the ideas, theories, principles and methods of epidemiology. New York: Oxford University Press. 411 p.

Chlopecka, A; Adriano, D. 1996. Mimicked insitu stabilization of metals in a cropped soil: Bioavailability and chemical form of zinc. Environmental Science Technology. 30: 3294-3303.

Ciecko, Z; Kalembasa, S; Wyszowski, M; Rolka, E. 2004. The effect of elevated cadmium content in soil on the uptake of nitrogen by plants. Plant Soil Environ. 50: 283–294.

Cobb, G; Sands, K; Waters, M; Wixson, M; Dorward-King, E. 2009. Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. Environmental Toxicology and Chemistry. 19: 600 - 607.

Díaz, J. 2012. Suelos Contaminados con Metales Pesados en Actividades Industriales. Tesis Ingeniero en procesos ambientales. Torreón, Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 57 p.

Dushenkov, V; Ananda Kumar, P; Motto, H; Raskin, I. 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aquos streams. Eviromental Science Technology. 29: 1239-1245.

Echeverria, J; Morera, M; Mazikara'n, C; Garrido, J. 1998. Competitive sorption of heavy metals by soils. Isotherms and fractional factorial experiments. Environmental Pollution, 101: 275–284.

Eick M; Peak J; Brady P; Pesek J. 1999 Kinetics of lead adsorption and desorption on goethite: Residence time effect. Soil Science. 164: 28–39.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Simposio mundial sobre la contaminación del suelo. Disponible en: <http://www.fao.org/about/meetings/global-symposium-on-soil-ollution/background/es/>.

Fassbender, H. 1984. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Turrialba, 398 p.

Figliolia, R.; Socciarelli, S; Pennelli, B. 2002. Capability of Brassica napus to accumulate Cadmiun, Zinc and Copper from soils. Act Biotechnololy. 22: 1-2. 133-140.

Filius, A; Streck, T; Richter, J. 1998. Cadmium sorption and desorption in limed topsoils as influenced by pH: Isotherms and simulated leaching. Journal Environmental. Quality. 27, 12–18.

Fleming, G; Walsh, T; Ryan, P. 1968. Some factors influencing the content and profile distribution of trace elements in Irish soils. Adelaide, Australia, 2: 341.

Fox, R; Dedatta, S; Wang, J. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminium status of Hawaiian soils as influenced by liming. International society of soils science. New Zealand. 574-583.

Guerrero, D. 2017. Tecnologías de revegetación en suelos impactados por actividades mineras, experiencias en el Perú. Tesis Ingeniero Ambiental. La Molina, Lima Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. 147 p.

González, M. 2016. Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero. Tesis Doctorado. Barcelona, España, Universidad de Barcelona. 333 p.

Guanilo, R. 2006. Revegetación y Evaluación de Nutrientes y Metales Pesados Encontrados en la Vegetación de las Canchas de Desmonte de La Unidad Productiva Uchucchacua-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Tesis Ingeniero Forestal. La Molina, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 95 p.

Hernández, M. 2016. Bioacumulación de Cadmio en Ryegrass (*Lolium perenne* L. Var. NUI) sembrado en tres sustratos en condiciones de invernadero. Tesis Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. La Molina, Lima, Perú, Escuela de Posgrado: Universidad Nacional Agraria La Molina. 77 p.

Hettiarachchi, G; Pierzynski, G. 2002. In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: Influence of plant growth. *Journal Environmental Quality*. 31:564-73.

Hettiarachchi G; Pierzynski G; Ransom M. 2001. In situ stabilization of soil lead using phosphorus. *Journal Environmental Quality*. 30:1214–1221.

Hildebrand, E; Blum, W. 1974. Lead fixation by clay minerals. *Naturwissenschaften*. 61, 169-170.

Hildebrand, E; Blum, W. 1974. Lead fixation by iron oxides. *Naturwissenschaften*. 61, 169-170.

Hooda, P; Alloway, B. 1997. Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils. *Geoderma*, 84: 121–134.

Houben D; Piricar J; Sonnet, P. 2012. Heavy metal immobilization by cost-effective amendments in a contaminated soil: effects on metal leaching and phytoavailability. *Journal of Geochemical Exploration* 123: 87-94.

Huamancaja, L. 2018. Aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado y su efecto en la disponibilidad de arsénico y crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*). Tesis Ingeniero ambiental. Huancayo, Perú, Universidad Continental. 177 p.

Huang, J; Kunningham, S. 1996. Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and traslocation. *New Phytol.* 134:75-84.

John, D; Leventhal, J. 1995. Bioavailability of Metals Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models. Denver, Colorado, U.S. Department of The Interior U.S. Geological Survey. 15: 95-831.

Johnson, D. 2014. Induced Phytoextraction of lead from contaminated urban soil through manipulation of rhizosphere and plant biogeochemical functions. Thesis Magister Scientiae. Kennesaw, GA, USA, Kennesaw State Univerity. 116 p.

Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition-CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 403 p.

Kabata-Pendias, A. 2007. Trace elements from soil to human. Verlag Berlin Heidelberg. 561 p.

Kabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition-CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 533 P.

Kaluđerović, T; Duduković, A; Raičević, S. 2001. Remediation of enviroment contaminated by lead using synthetic and natural apatites. *Journal of the Society of Chemical Industry.* 55: 114-119.

Kinniburgh, D; Jackson, M; Syers, J. 1976. Adsorption of alkaline earth, transition, and heavy metal cations by hydrous gels of iron and aluminium. *Soil Science Society of America Journal*. 40: 796–799.

Kitagishi, K; Yamane, I. 1981. *Heavy Metal Pollution in Soils of Japan*. Japan Science Society Tokyo, 302 p.

Lasat M; 2000. The use of plants for the removal of Toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow. 33 p.

Liu, J; Li, K; Xu, J; Zhang, Z; Ma, T; Lu, X; Yang, J; Zhu, Q. 2003. Lead toxicity, uptake, and translocation in different rice cultivars. *Plant Sci* 165:793–802.

McBride, M; Suave, S; Hendershot, W. 1997. Solubility control of Cu, Zn, Cd, and Pb in contaminated soils. *European Journal Soil Science*. 48: 337–346.

Mcbride, M. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. New York, Oxford University. 336-337 p.

Mench, M; Didier, V; Leoffler, M; Gomez, A; Pierre, M. 1994. A mimicked in-situ remediation study of metal-contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. *Journal Environmental Quality*. 23: 58–63.

Millán, R; Carpena, R.; Schmid, T; Sierra, M; Moreno, E; Peñalosa, J; Gamara, R; Steban, E. 2007. Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: Estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistemas*, 16: 56-66.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2009. Decreto Supremo N° 017-2009-AG. Reglamento de clasificación de tierras. Lima, Perú.



Minera Chinalco Perú, 2015. Primera actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Toromocho. Junín, Perú, Ministerio de Energía y Minas. 319 p. Expediente N° 2587358.

Munive, R. 2018. Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. Tesis Doctoris Philosophiae en ingeniería y ciencias ambientales. La Molina, Lima, Perú, Escuela de Posgrado: Universidad Nacional Agraria La Molina. 147 p.

Pagnanelli, F; Mosca, E; Giuliano, V; Toro, L. 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area; pollution detection and affinity series. *Environmental Pollution* 132: 189–201.

Pérez-Sirvent, C; Martínez-Sánchez, M; García-Lorenzo, M; Bech, J. 2008. Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by by minning activities. *Fresenius Environmental Bulletin* 17: 1666-1671.

Porta, M. 2008. *A Dictionary of Epidemiology* (5th edition). New York, Oxford University. 316 p.

Programa conjunto FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) /OMS (Organización Mundial de la Salud) sobre normas alimentarias comisión del Codex Alimentarius, 27° período de sesiones, Ginebra, 2015. 69 p.

Puschenreiter, M; Horak, O; Friesl, W; Hartl, W. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into food chain. *Plant Soil Environ.* 51: 1–11.

Raskin, I; Ensley, B. 2000. *Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean the Enviroment*. J. Wiley & Sons Inc. USA. 304 p.

Ríos, A. 2017. Comparación de las Eficiencias Fitorremediadoras de las Especies *Lolium perenne*, *Pelargonium hortorum* y *Fuertesimalva echinata* en la Reducción de la Concentración de Plomo en Suelos Agrícolas del Distrito de Huamantanga. Tesis Ingeniera Ambiental. Lima, Perú, Universidad César Vallejo. 129 p.

Sampieri, R; Collado, C; Lucio, P. 2006. Metodología de la investigación, cuarta edición. 882 p.

Sánchez, A; López, M; Nadal, J. 2007. Bioaccumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater hite-toothed shrew, *Crocidurarus-sula*, from the Ebro Delta (NE Spain): sex- and age-dependent variation. *Environmental Pollution*. 145: 7-14.

Silva, G. 2013. Evaluación de plantas fitoacumuladoras en suelos aluviales con alto nivel de cobre disponible. Tesis Ingeniero Agrónomo, Santiago, Chile, Universidad de Chile. 44 p.

Sipos, P; Nemeth, T; Mohai, I. 2005. Distribution and possible immobilization of lead in a forest soil (Luvisol) profile. *Environmental Geochemistry Health*. Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Pusztaszeri. 59-67.

Tisdale, S. L. and W. Nelson. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, D. F. 760 p.

Tlustos, P; Balík, J; Dvorák, P; Száková, J; Pavlíková. 2001. Zinc and lead uptake by three crops planted on different soils treated by sewage sludge. *Rostl. Vým.*, 47: 129-134.

Tyler, G. 1981. Leaching of metals from the A-horizon of a spruce forest soil, *Water Air Soil Pollution*. 15: 353-369.

Ulmanu M; Mats T; Anger I; Gament E; Olanescus G; Predescue C; Sohaciu; M. 2007. The remedial treatment of soil polluted with heavy metals using fly ash. *UPB. Science Bulletin, Series B* 69: 109-116.

Usman, A. 2008. The relative adsorption selectivities of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on shale in New Valley, Egypt. *Geoderma*, 144: 334–343.

Vega, M. 2014. Efecto de la materia orgánica y el encalado del suelo en cebada (*Hordeum vulgare* L.) Variedad UNA 96 cultivado en invernadero. Tesis Ingeniero Agrónomo. LA Molina, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 75 p.

Veneman, P; Murray, J; Baker, J. 1983. Trace Elements in the Terrestrial Environment. *Journal Environmental Quality* 12:101-104.

Weil, R; Brady, N. 2017. *The Nature and Properties of Soils*. 15th Edition. 1071 p.

Weng, L; Temminghoff, E; Van Riemsdijk, W. 2001. Contribution of individual sorbents to the control of heavy metal activity in sandy soil. *Environmental Science & Technology*. 35: 4436-4443.

Zhen-Guo, S; Xiang-Dong L; Chun-Chun, W; Huai-Man, C; Hong, C. 2002. Lead Phytoextraction from Contaminated Soil with High-Biomass Plant Species. *Journal of Environmental Quality*. 31: 893-1900.

## **VII. ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Figura 1-17** Comunidad Campesina de San Francisco de Pucará.



**Figura 1-18** Paisaje del área de colección de la muestras de suelo.



**Figura 1-19** Captación de las muestras de suelo.



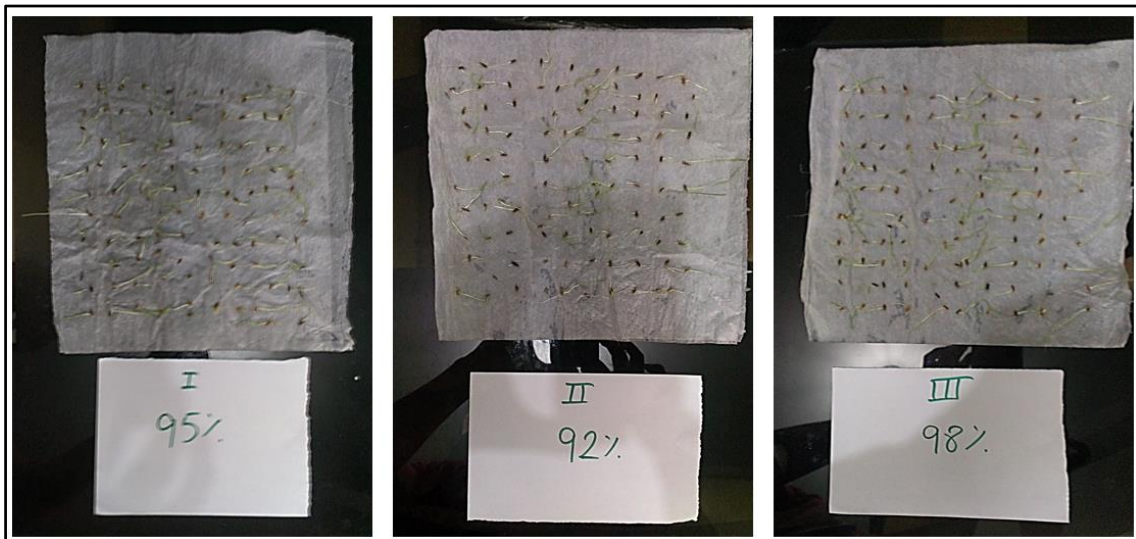
**Figura 1-20** Uso actual de la tierra.



**Figura 1-21** Encalado del suelo.

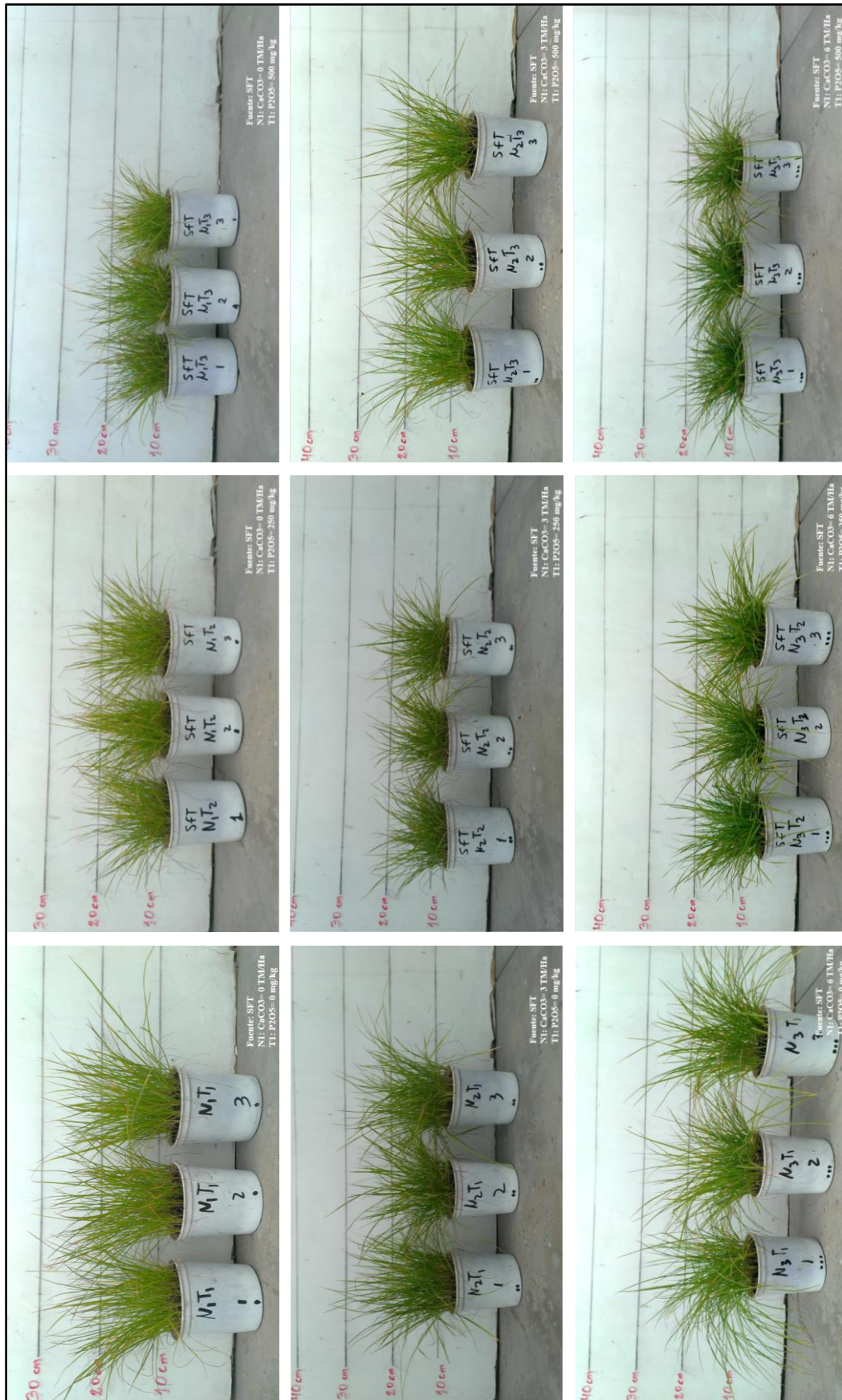


**Figura 1-22** Distribución de las macetas en el laboratorio de fertilidad de suelo.

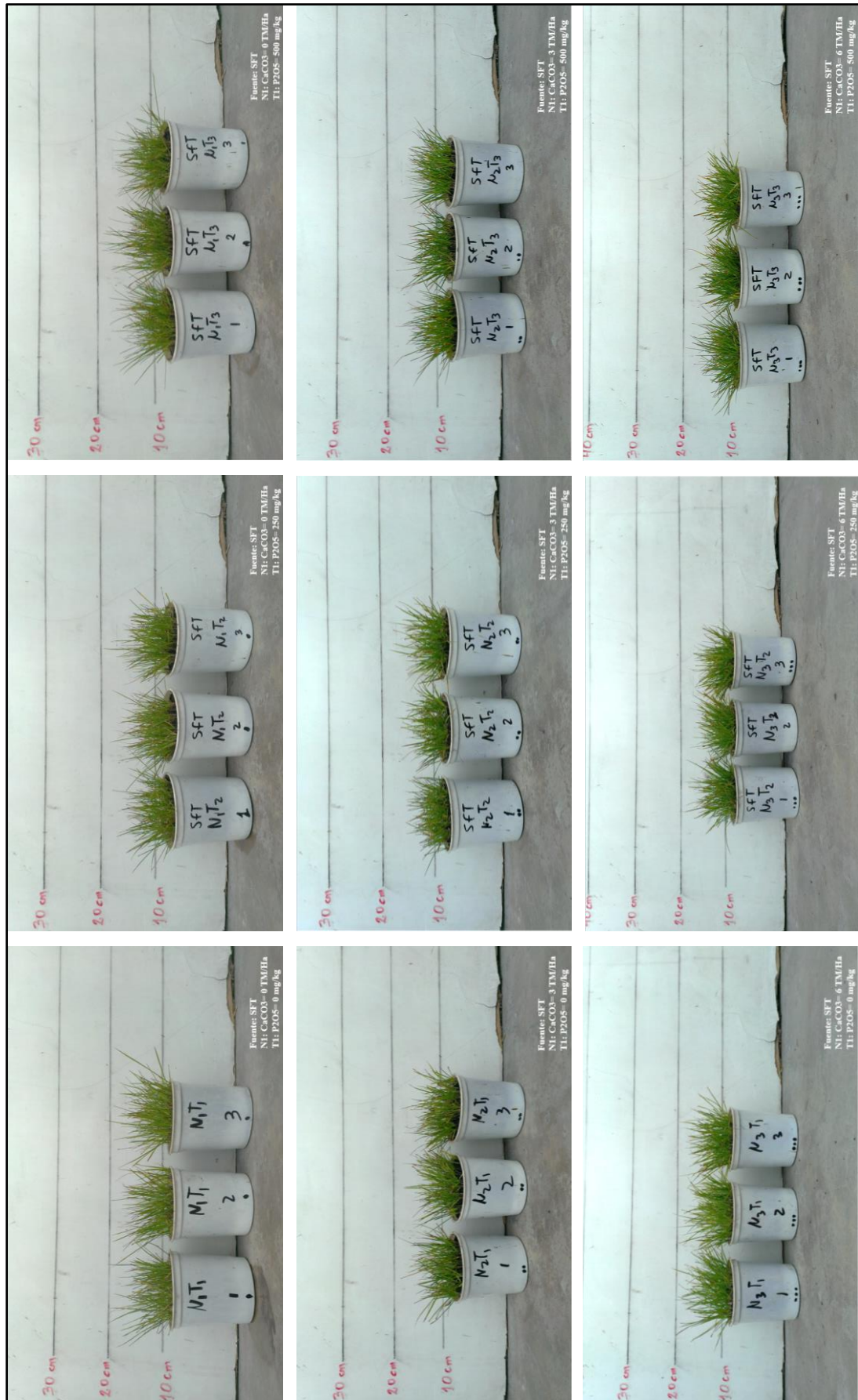


**Figura 1-23** Prueba de germinación. Ryegrass variedad NUI.





**Figura 1-24** Medición de altura del ryegrass – primer corte. Fuente fosfatada SFT.



**Figura 1-25** Medición de altura del ryegrass – segundo corte. Fuente fosfatada SFT.



**Figura 1-26** Medición de altura del ryegrass – primer corte. Fuente fosfatada FDA.

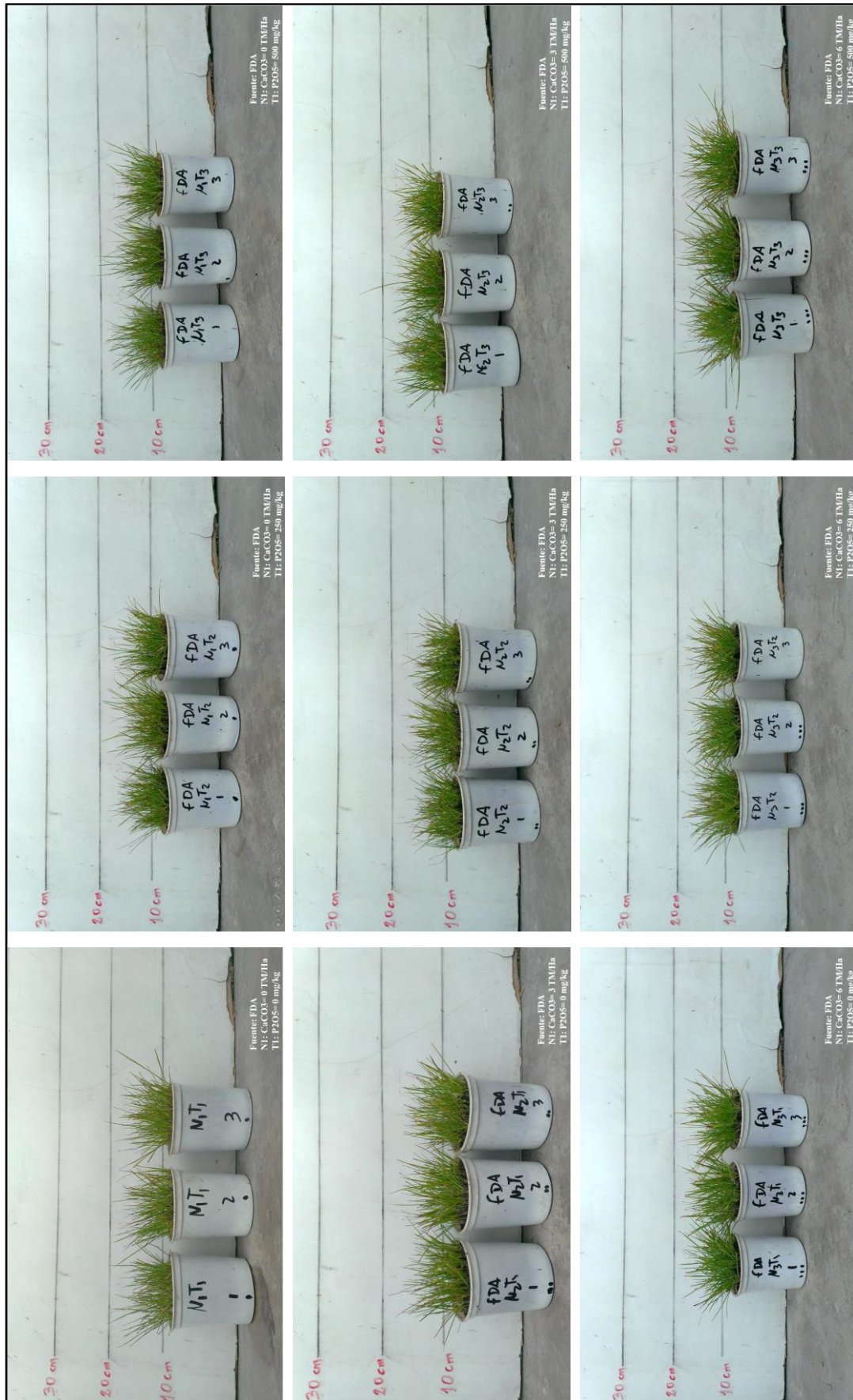


Figura 1-27 Medición de altura del ryegrass – segundo corte. Fuente fosfatada FDA.



**Figura 1-28** Color del ryegrass antes de efectuar el primer corte.



**Figura 1-29** Color antes del segundo corte.



**Figura 1-30** Color antes del segundo corte.



**Figura 1-31** Preparación de muestras de raíces y suelo para envío a laboratorio, después del segundo corte.

## ANEXO 2

### BASE DE DATOS

**Tabla 2-14** Mediciones de peso seco, altura y concentración de plomo; para los tratamientos con SFT

N°	Nivel de encalado	Dosis de fertilización SFT	Repetición	Peso de seco de hojas y tallos en el primer corte (g)	Concentración de plomo en hojas y tallos en el primer corte (mg/kg)	Peso de seco de hojas y tallos en el segundo corte (g)	Concentración de plomo en hojas y tallos en el segundo corte (mg/kg)	Concentración de plomo en raíz (mg/kg)	Peso seco de raíz (g)	Altura de la planta al primer corte (cm)	Altura de la planta al segundo corte (cm)	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)
1			1	8.787	4.42250	4.776	<0.01	57.8500	10.878	21	7.6	701.1
2		F1: 0 mg/kg	2	8.960	<0.01	4.716	<0.01	59.6250	9.194	21	8.5	665.43
3			3	8.7189	<0.01	4.627	<0.01	39.5875	10.537	20	9	682.39
4	E1: 0 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F2: 250 mg/kg	1	8.465	<0.01	4.393	<0.01	51.3375	10.698	18.2	8.5	715.77
5			2	8.677	<0.01	4.648	<0.01	60.0875	10.914	18.5	8	669.19
6			3	8.834	<0.01	4.545	<0.01	56.1000	9.278	18.2	7.8	762.87
7		F3: 500 mg/kg	1	8.124	2.32000	4.053	<0.01	56.6500	10.199	16	8	716.44
8	2		8.065	<0.01	3.963	<0.01	60.5250	11.003	16.3	8.7	711.97	
9	3		8.168	3.61427	4.163	<0.01	58.8625	9.053	16	8.5	699.18	
10			1	9.325	3.58875	4.654	<0.01	29.0625	9.962	23	9.2	718.03
11		F1: 0 mg/kg	2	9.489	8.91750	4.888	<0.01	52.5125	9.492	22.5	8.7	669.07
12			3	9.658	4.98500	4.824	<0.01	57.6500	13.134	23.3	8.2	717.83
13	E2: 3 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F2: 250 mg/kg	1	8.252	2.28000	3.997	<0.01	57.8750	10.390	15.5	7	704.72
14			2	8.341	<0.01	4.046	<0.01	57.9125	9.654	15	7.5	670.47
15			3	8.293	0.37750	4.042	<0.01	60.2750	8.993	16	8	690.5
16		F3: 500 mg/kg	1	8.517	<0.01	4.568	<0.01	60.9250	8.762	20	8.1	734.08
17	2		8.153	<0.01	4.417	<0.01	61.5750	13.323	20	9.1	666.26	
18	3		8.856	<0.01	4.258	<0.01	57.4250	12.251	21	9	670.67	
19			1	9.670	<0.01	5.466	<0.01	46.3625	11.509	27	9.6	829.55
20		F1: 0 mg/kg	2	10.827	1.20750	5.988	<0.01	51.9625	12.667	28	8.7	744.2
21			3	10.7435	1.24250	5.832	<0.01	54.5375	12.175	28	9.7	650.42
22	E3: 6 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F2: 250 mg/kg	1	9.856	<0.01	5.349	<0.01	39.9625	10.935	17.5	8.5	769.79
23			2	10.104	<0.01	5.151	<0.01	51.3875	12.819	17.5	8.4	728.31
24			3	9.838	<0.01	5.357	<0.01	41.6500	11.333	17.5	9	655.6
25			1	9.795	1.98125	4.742	<0.01	49.6875	12.329	16.5	8.8	891.3
26		F3: 500 mg/kg	2	8.425	6.52500	4.160	<0.01	51.3375	11.310	16.5	8.3	729.69
27			3	9.277	4.50500	4.687	<0.01	47.5500	13.697	16.5	8.7	697.43



**Tabla 2-15** Número de brotes para los tratamientos con SFT

Nivel de encalado	Dosis de fertilización	N° plantas evaluadas	Frecuencia de N° tallos					Promedio ponderado	Promedio		
			2	3	4	5	6			7	
E1: 0 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F1: 0 mg/kg	10	6	4	0	0	0	0	2.4	2.37	
		10	6	4	0	0	0	0	2.4		
	F2: 250 mg/kg	10	7	3	0	0	0	0	2.3		
		10	6	4	0	0	0	0	2.4		
		10	4	6	0	0	0	0	2.6		
		10	6	4	0	0	0	0	2.4		
		10	5	5	0	0	0	0	2.5		
		10	5	4	1	0	0	0	2.6		
	F3: 500 mg/kg	10	6	3	1	0	0	0	2.5		
		10	3	7	0	0	0	0	2.7		
E2: 3 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F1: 0 mg/kg	10	3	7	0	0	0	0	2.7	2.67	
		10	3	7	0	0	0	0	2.7		
	F2: 250 mg/kg	10	4	6	0	0	0	0	2.6		
		10	7	3	0	0	0	0	2.3		
		10	7	3	0	0	0	0	2.3		
		10	6	4	0	0	0	0	2.4		
		10	6	4	0	0	1	0	2.7		
		10	7	2	0	1	0	0	2.5		
	F3: 500 mg/kg	10	1	7	0	0	2	0	3.5		
		10	0	8	0	2	0	0	3.4		
E3: 6 t CaCO <sub>3</sub> /ha	F1: 0 mg/kg	10	1	6	0	2	1	0	3.6	3.40	
		10	0	9	0	1	0	0	3.2		
	F2: 250 mg/kg	10	1	5	2	2	0	0	3.5		
		10	2	5	2	1	0	0	3.2		
		10	2	5	2	1	0	0	3.2		
		10	4	3	2	1	0	0	3		
		F3: 500 mg/kg	10	6	2	0	1	0	1		3
			10	4	4	1	0	1	0		3

**Tabla 2-16** Mediciones de peso seco, altura y concentración de plomo; para los tratamientos con FDA

N <sup>o</sup>	Nivel de Encalado (t CaCO <sub>3</sub> /ha)	Dosis de fertilización FDA (mg/kg)	Repetición	Peso de seco de hojas y tallos en el primer corte (g)	Concentración de plomo en hojas y tallos en el primer corte (mg/kg)	Peso de seco de hojas y tallos en el segundo corte (g)	Concentración de plomo en hojas y tallos en el segundo corte (mg/kg)	Concentración de plomo en raíz (mg/kg)	Peso seco de raíz (g)	Altura de la planta al primer corte (cm)	Altura de la planta al segundo corte (cm)	Concentración final de plomo en suelo (mg/kg)
1			1	9.893	0.46375	5.232	<0.01	57.3000	10.590	22	8.5	784.18
2		F1: 0	2	9.503	1.74250	5.124	<0.01	60.5000	10.610	21	8	754.16
3			3	10.148	5.46250	5.174	<0.01	60.2875	10.640	22	8.2	717.35
4			1	9.845	6.79625	5.108	<0.01	60.7875	11.538	20.5	8	687.97
5	E1: 0	F2: 250	2	9.460	4.46500	4.993	4.6	49.8750	10.182	20.5	9	758.02
6			3	9.476	4.99750	4.792	3.94125	61.2375	10.964	20.6	9	721.68
7			1	8.284	3.89875	4.070	11.725	61.2375	11.819	19	9.5	678.06
8		F3: 500	2	8.275	0.88875	4.086	15.1875	60.0625	10.665	18.7	9	674.92
9			3	8.123	0.75625	4.070	14.225	60.2500	10.293	19.4	8.5	716.8
10			1	10.826	1.50250	5.597	16.75	58.8625	11.233	24	7.5	680.23
11		F1: 0	2	10.000	2.33875	5.755	18.825	57.7875	11.000	23.8	8	693.83
12			3	9.956	3.37250	5.180	24.525	61.5750	10.554	24.3	8.5	693.24
13			1	8.062	<0.01	4.027	20.625	56.9750	10.860	19	8.2	722.52
14	E2: 3	F2: 250	2	8.239	1.09250	4.021	16.775	60.8625	14.022	19	8.1	792.01
15			3	8.184	1.77125	3.911	18.4875	54.7875	9.480	19	7.4	716.35
16			1	9.246	<0.01	4.696	19.0625	61.9250	14.357	20	8.2	668.92
17		F3: 500	2	9.255	<0.01	4.751	19.2875	61.9625	9.800	21	9	721.55
18			3	9.570	<0.01	4.825	19.9375	49.8250	9.833	20	8.5	692.52
19			1	10.282	<0.01	5.076	17.875	42.4000	14.792	29	10.2	705.58
20		F1: 0	2	10.342	<0.01	5.105	20.35	50.5500	11.796	27	10	745.74
21			3	11.124	<0.01	5.371	23.5875	48.5000	12.490	29	10	703.84
22			1	11.579	<0.01	5.900	22.625	43.9500	12.307	28	9.4	678.43
23	E3: 6	F2: 250	2	11.344	<0.01	5.900	21.375	48.6500	11.975	29	9.5	752.39
24			3	11.231	<0.01	5.990	24.0125	45.7375	12.072	29	9	803.17
25			1	11.009	<0.01	5.440	25.6	48.8875	14.449	28	10.1	675.63
26		F3: 500	2	11.424	<0.01	5.561	25.3375	44.6000	11.505	28	10.2	685.54
27			3	11.189	<0.01	5.467	27.325	54.8625	11.899	28	10	755.83

**Tabla 2-17** Número de brotes para los tratamientos con FDA

Nivel de encalado (t CaCO <sub>3</sub> /ha)	Dosis de fertilización (mg/kg)	N° plantas evaluadas	Frecuencia de N° tallos							Promedio ponderado	Promedio
			2	3	4	5	6	7			
E1: 0	F1: 0	10	6	4	0	0	0	0	2.4	2.43	
		10	6	4	0	0	0	0	2.4		
		10	5	5	0	0	0	0	2.5		
	F2: 250	10	5	5	0	0	0	0	2.5		
		10	4	6	0	0	0	0	2.6		
		10	3	7	0	0	0	0	2.7		
		10	3	7	0	0	0	0	2.7		
	F3: 500	10	5	5	0	0	0	0	2.5		
		10	4	5	1	0	0	0	2.7		
		10	2	6	0	1	1	0	3.3		
E2: 3	F1: 0	10	2	6	0	2	0	0	3.2	3.27	
		10	2	6	0	1	1	0	3.3		
		10	2	7	0	0	1	0	3.1		
	F2: 250	10	1	8	0	1	0	0	3.1		
		10	3	6	0	1	0	0	2.9		
		10	2	7	0	1	1	0	3.3		
		10	2	6	0	2	0	0	3.2		
	F3: 500	10	2	8	0	1	1	0	3.3		
		10	0	5	2	2	1	0	3.9		
		10	0	5	3	1	1	0	3.8		
E3: 6	F1: 0	10	0	3	3	2	2	0	4.3	4.00	
		10	0	3	2	3	2	0	4.4		
		10	0	2	2	2	3	1	4.9		
	F2: 250	10	0	1	1	3	3	2	5.4		
		10	0	4	3	2	1	0	4		
		10	0	4	3	1	1	1	4.2		
		10	0	2	2	3	2	1	4.8		
	F3: 500	10	0	4	3	1	1	1	4.2		
		10	0	2	2	3	2	1	4.8		

**Tabla 2-18** Registros de altura del ryegrass (cm)

DDS	Fuente SFT									Fuente FDA								
	E1F1			E1F2			E1F3			E1F1			E1F2			E1F3		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	9	9	8.5	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9	8.5	9	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
16	14	15	14	13	13	14.5	14	14	12	14	14	14	15	16	16	15	14	14
21	17.5	18	18	16.5	16.5	16.5	16.5	17.5	14.5	17	16	18	19.5	19.5	18	18	17.5	18.5
28	19	20	18	19	19	18	18	18	18	19	18.5	19	19.5	19.5	19	19	19	19.5
35	20	22	18.5	19.5	19.5	19.5	19	19	20	19.5	19.5	19.5	19.5	20	20	20	20	20
41	21	21	20	20	20	20	20	20	21	21	20	20	20	21	21	21	21	21
44	3.9	3.8	4.2	4	4	3.8	3.5	4	3.8	3.5	3.5	4	3.5	4	3.5	4.5	3.7	3.5
51	7	7.5	8	7	7.5	7	7.5	8.5	7.5	8	7.5	7.5	7.5	8	8	9	9	7.5
56	7.2	8.2	9	8.5	8	7.2	8	8.5	8.2	8.5	7.8	8.2	8	9	9	9.5	9	8.5
63	7.6	8.5	9	8.5	8	7.8	8	8.7	8.5	8.5	8	8.2	8	9	9	9.5	9	8.5
70	7.3	8.3	8.5	8.3	7.9	7.8	7.8	8.5	8.3	8.1	7.9	8.2	7.9	8.8	8.8	9.4	8.7	8.3
DDS	E2F1			E2F2			E2F3			E2F1			E2F2			E2F3		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	10	10	10	8	8	8	9.5	9.5	9.5	9.5	10	9.5	8.5	9.5	9.5	10	10.5	10.5
16	14	15	14	13	14	13.5	16	15	16	15	16	16	15.5	14	14	15	15	15
21	17	18	17	16.5	17	17	18	17.5	18	16.5	16.5	16.5	20	20	19	17.5	17.5	18
28	20	21	20	19	18	20	20	21	20	22	21	20	21	21	20.5	19	20	20
35	21	22	21	20	19	22	21	22	20	22	21	20	20	21	21	22	22	23
41	21	22	21	21	20	22	22	22	20	22	21	20	22	22	22	23	23	24
44	4	3.7	3.7	3.2	3.5	3.5	4	4	4.5	3.5	4.2	4	4	3.7	3.8	4.2	4.2	4.2
51	9	8.5	8	6.5	7.5	7.5	8	9	9	7	7	8.5	8	8	7	8	9	8.5
56	9	8.5	8	6.7	7.5	7.8	8	9	9	7.5	7.8	8.5	8	8	7.2	8	9	8.5
63	9.2	8.7	8.2	7	7.5	8	8.1	9.1	9	7.5	8	8.5	8.2	8.1	7.4	8.2	9	8.5
70	9	8.5	8	6.9	7.3	7.8	8	9	9	7.3	7.7	8.2	8	8	7.4	8.1	8.8	8.3
DDS	E3F1			E3F2			E3F3			E3F1			E3F2			E3F3		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	9.5	10	10	8.5	9	9	8.5	9	9	10	9.5	10.5	11	10.5	11	10	10	9.5
16	15	13	16	15	17	15	14	15	15	17	16.5	16.5	17.5	18	19	16	16	16
21	20	20	20	22	21	22	22	23	22	21	20	21	20	21	22	23	23	23.5
28	25	26	26	26	26	26	27	28	26	25	24	25	23	22	24	26	27	26
35	26	27.5	27	28	27	27.5	29	29	27.5	28	25	28	25	25	26	27	28	28
41	27	28	28	29	28	28	30	29	28	29	27	29	28	29	30	28	29	29
44	4.5	4.5	4.5	4	4.5	4.2	4.5	4.2	4.5	5	5	4.7	4.5	4.7	5.3	4.7	5.5	5.5
51	9	8	9	8	8	8.5	8	8	8	10	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9	10	9
56	9.5	8.5	9.5	8.5	8.2	8.7	8.6	8	8.5	10.2	9.7	10	9	9	8.8	10.1	10.2	9.5
63	9.6	8.7	9.7	8.5	8.4	9	8.8	8.3	8.7	10.2	10	10	9.4	9.5	9	10.1	10.2	10
70	9.4	8.5	9.5	8.4	8.2	8.8	8.7	8	8.6	9.1	9.9	9.7	9.3	9.4	9	9.9	9.9	9.8

DDS: Días después de siembra.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA

Departamento : JUNIN  
 Distrito : MOROCOCHA - PUCARA  
 Referencia : H.R. 52217-130C-15

Provincia : YAULI  
 Predio :  
 Fecha : 26/11/15

Bolt.: 12682

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases			
								Arena %	Limo %			Arcilla %	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>			Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	
14753	SP-01	3.92	0.22	0.00	14.65	42.4	164	63	31	6	Fr.A.	31.04	2.24	0.70	0.32	0.16	2.70	6.12	3.42	11

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;  
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab.	Número de Muestra Claves	Pb ppm
14753	SP-01	1109.87

Dr. Sady García Bendezy  
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ YAULI/ MOROCOCHA-PUCARA  
REFERENCIA : H.R. 52740  
BOLETA : 12806  
FECHA : 08/01/2016

Lab	Número Muestra		Pb ppm
	Claves		
002	SP-01		648.72
003	SP-10		678.62
004	SP-100		689.02

  
Dra. Sady García Bendezu  
Jefe del Laboratorio

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : JORGE HINOSTROZA RIVERA

Departamento : JUNIN  
 Distrito : LA OROYA  
 Referencia : H.R. 51540-117C-15

Provincia : JUNIN  
 Predio :  
 Fecha : 19/10/15

Bolt.: 12492

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g					Suma de Cationes Bases	Suma de Sat. De Bases	%
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
13031	SLOV-1	7.81	1.19	9.10	5.38	302.9	517	16	35	16	Fr.	12.80	9.60	2.18	0.88	0.13	0.00	12.80	12.80	100
13032	SLOV-2	7.66	3.25	16.20	0.64	24.5	217	26	35	26	Fr.	13.44	8.40	4.15	0.76	0.13	0.00	13.44	13.44	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcilloso ;  
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra	
Lab.	Pb
Claves	ppm
13031	212.38
13032	488.21

*Dra. Sady García Bendejir*  
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
REFERENCIA : H.R. 59818  
FECHA : 04/08/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
5674	1	701.10
5675	2	715.77
5676	3	716.44
5677	4	718.03
5678	5	704.72
5679	6	734.08
5680	7	829.55
5681	8	769.79
5682	9	891.30
5683	10	784.18
5684	11	687.97
5685	12	678.06
5686	13	680.23
5687	14	722.52
5688	15	668.92
5689	16	705.58
5690	17	678.43
5691	18	675.63
5692	19	665.43
5693	20	669.19



Dr. Sady García Bendejú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe





## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
REFERENCIA : H.R. 59818  
FECHA : 03/08/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
5694	21	711.97
5695	22	669.07
5696	23	670.47
5697	24	666.26
5698	25	744.20
5699	26	728.31
5700	27	729.69
5701	28	754.16
5702	29	758.02
5703	30	674.92
5704	31	693.83
5705	32	792.01
5706	33	721.55
5707	34	745.74
5708	35	752.39
5709	36	685.54
5710	37	682.39
5711	38	762.87
5712	39	699.18
5713	40	717.83



Dr. Sady García Bendejú  
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
REFERENCIA : H.R. 59818  
FECHA : 03/08/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
5714	41	690.50
5715	42	670.67
5716	43	650.42
5717	44	655.60
5718	45	697.43
5719	46	717.35
5720	47	721.68
5721	48	716.80
5722	49	693.24
5723	50	716.35
5724	51	692.52
5725	52	703.84
5726	53	803.17
5727	54	755.83



Dr. Sady Garcia Bendezu  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

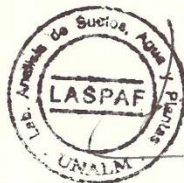


### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3496	1	4.42
3497	2	N.D.
3498	3	N.D.
3499	4	N.D.
3500	5	N.D.
3501	6	N.D.
3502	7	2.32
3503	8	N.D.
3504	9	3.61
3505	10	3.59
3506	11	8.92
3507	12	4.99
3508	13	2.28
3509	14	N.D.
3510	15	0.38
3511	16	N.D.
3512	17	N.D.
3513	18	N.D.
3514	19	N.D.
3515	20	1.21

N.D.: No detectable.



*Dr. Sady García Bendezu*  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
FACTURA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3516	21	1.24
3517	22	N.D.
3518	23	N.D.
3519	24	N.D.
3520	25	1.98
3521	26	6.53
3522	27	4.51
3523	28	0.46
3524	29	1.74
3525	30	5.46
3526	31	6.80
3527	32	4.47
3528	33	5.00
3529	34	3.90
3530	35	0.89
3531	36	0.76
3532	37	1.50
3533	38	2.34
3534	39	3.37
3535	40	N.D.

N.D.: No detectable.



*Dr. Sady García Bendezú*  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
FACTURA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3536	41	1.09
3537	42	1.77
3538	43	N.D.
3539	44	N.D.
3540	45	N.D.
3541	46	N.D.
3542	47	N.D.
3543	48	N.D.
3544	49	N.D.
3545	50	N.D.
3546	51	N.D.
3547	52	N.D.
3548	53	N.D.
3549	54	N.D.
3550	55	N.D.
3551	56	N.D.
3552	57	N.D.
3553	58	N.D.
3554	59	N.D.
3555	60	N.D.

N.D.: No detectable.



Dr. Sady García Bendezi  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3556	61	N.D.
3557	62	N.D.
3558	63	N.D.
3559	64	N.D.
3560	65	N.D.
3561	66	N.D.
3562	67	N.D.
3563	68	N.D.
3564	69	N.D.
3565	70	N.D.
3566	71	N.D.
3567	72	N.D.
3568	73	N.D.
3569	74	N.D.
3570	75	N.D.
3571	76	N.D.
3572	77	N.D.
3573	78	N.D.
3574	79	N.D.
3575	80	N.D.

N.D.: No detectable.



*Dr. Sady García Bendezú*  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3576	81	N.D.
3577	82	N.D.
3578	83	N.D.
3579	84	N.D.
3580	85	N.D.
3581	86	4.60
3582	87	3.94
3583	88	11.73
3584	89	15.19
3585	90	14.23
3586	91	16.75
3587	92	18.83
3588	93	24.53
3589	94	20.63
3590	95	16.78
3591	96	18.49
3592	97	19.06
3593	98	19.29
3594	99	19.94
3595	100	17.88

N.D.: No detectable.



*Dr. Sady García Bendezu*  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3596	101	20.35
3597	102	23.59
3598	103	22.63
3599	104	21.38
3600	105	24.01
3601	106	25.60
3602	107	25.34
3603	108	27.33
3604	109	57.85
3605	110	59.63
3606	111	39.59
3607	112	51.34
3608	113	60.09
3609	114	56.10
3610	115	56.65
3611	116	60.53
3612	117	58.86
3613	118	29.06
3614	119	52.51
3615	120	57.65



Dr. Sady García Bendezi  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3616	121	57.88
3617	122	57.91
3618	123	60.28
3619	124	60.93
3620	125	61.58
3621	126	57.43
3622	127	46.36
3623	128	51.96
3624	129	54.54
3625	130	39.96
3626	131	51.39
3627	132	41.65
3628	133	49.69
3629	134	51.34
3630	135	47.55
3631	136	57.30
3632	137	60.50
3633	138	60.29
3634	139	60.79
3635	140	49.88



Dr. Sady García Bendejú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : JORGE HINOSTROZA RIVERA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
MUESTRA DE : HOJAS Y RAÍCES DE RYE GRASS  
REFERENCIA : H.R. 58653  
BOLETA : 333  
FECHA : 14/06/17

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm
3636	141	61.24
3637	142	61.24
3638	143	60.06
3639	144	60.25
3640	145	58.86
3641	146	57.79
3642	147	61.58
3643	148	56.98
3644	149	60.86
3645	150	54.79
3646	151	61.93
3647	152	61.96
3648	153	49.83
3649	154	42.40
3650	155	50.55
3651	156	48.50
3652	157	43.95
3653	158	48.65
3654	159	45.74
3655	160	48.89
3656	161	44.60
3657	162	54.86



Dr. Sady García Bendezú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**ANEXO 4**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

**ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS**

**ALTURA: PRIMER CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-19** Análisis de varianza – Altura del ryegrass en el primer corte

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Nivel de encalado	2	21.887	10.943	66.85	0.000
Dosis de fertilización	2	245.816	122.908	750.79	0.000
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	99.911	24.978	152.58	0.000
Error	18	2.947	0.164		
Total	26	370.560			

C.V.= 2.0768

**Tabla 4-20** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3(6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	20.5556	a
E2(3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	19.5889	b
E1(0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	18.3556	c

**Tabla 4-21** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según la dosis de fertilización fosfatada con SFT

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	23.7556	a
F3(500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.6444	b
F2(250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.1000	c

**Tabla 4-22** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	27.6667	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	22.9333	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.6667	c
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.3333	c
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	18.3000	d
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	17.5000	de
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	16.5000	ef
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3(500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	16.1000	f
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	15.5000	f

**ALTURA: SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-23** Análisis de varianza – Altura del ryegrass en el segundo corte

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Nivel de encalado	2	1.854	0.9270	4.08	0.034
Dosis de fertilización	2	2.463	1.2315	5.42	0.014
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	1.690	0.4226	1.86	0.161
Error	18	4.087	0.2270		
Total	26	10.094			

C.V.= 5.6155

**Tabla 4-24** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el segundo corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3(6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.85556	a
E2(3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.31111	a
E1(0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.28889	a

**Tabla 4-25** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el segundo corte según la dosis de fertilización fosfatada con SFT

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.80000	a
F3(500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.57778	ab
F2(250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.07778	b

**ALTURA: PRIMER CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-26** Análisis de varianza - Altura del ryegrass en el primer corte

Fuentes	GL	SC.	MC.	Valor F	Valor p
Nivel de encalado	2	3.57675	1.78837	641.46	0.000
Dosis de fertilización	2	0.30735	0.15367	55.12	0.000
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	0.29992	0.07498	26.89	0.000
Error	18	0.05018	0.00279		
Total	26	4.23420			

C.V.= 0.2268

**Tabla 4-27** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media*	Agrupación
E3(6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	5.32254	a
E2(3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.59006	b
E1(0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.51615	c

\* Transformación Cox Box: exponente 0.52

**Tabla 4-28** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según la dosis de fertilización fosfatada con FDA

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.95966	a
F2(250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.74807	b
F3(500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.72102	b

\* Transformación Cox Box: exponente 0.52

**Tabla 4-29** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el primer corte según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2(250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.35394	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.32216	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.29150	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.90234	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.65447	c
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.53137	c
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.50895	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.36260	d
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha): F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.35890	d

\* Transformación Cox Box: exponente 0.52

**ALTURA SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-30** Análisis de varianza - Altura del ryegrass en el segundo corte

Fuente	GL	SC.	MC.	Valor F	Valor p
Nivel de encalado	2	13.259	6.6293	44.41	0.000
Dosis de fertilización	2	1.765	0.8826	5.91	0.011
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	1.126	0.2815	1.89	0.157
Error	18	2.687	0.1493		
Total	26	18.836			

C.V.= 4.3589

**Tabla 4-31** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el segundo corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3(6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	9.82222	a
E1(0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.63333	b
E2(3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	8.15556	c

**Tabla 4-32** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Altura del ryegrass en el segundo corte según la dosis de fertilización fosfatada con FDA

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F3(500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.22222	a
F1(0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.76667	ab
F2(250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.62222	b



**PESO SECO DE FOLLAJE: PRIMER CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPER FOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-33** Análisis de varianza - Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.0020	0.0010	0.6781	0.5216
Nivel de encalado	2	0.1007	0.0504	34.1778	0.0000
Dosis de fertilización	2	0.0525	0.0262	17.8163	0.0001
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	0.0149	0.0037	2.5324	0.0811
Error	16	0.0236	0.0015		
Total	26	0.1937			

C.V.= 0.4282

**Tabla 4-34** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media del logaritmo	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.2837	9.84	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.1688	8.77	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.1432	8.53	b

**Tabla 4-35** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte según la dosis de fertilización fosfatada SFT

Dosis de fertilización	Media del logaritmo	Media	Agrupación
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.2564	9.58	a
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.1900	8.96	b
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.1494	8.60	b

**PESO SECO DE FOLLAJE: SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPER FOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-36** Análisis de varianza – Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.0089	0.0044	0.1390	0.8712
Nivel de encalado	2	3.5713	1.7856	55.8241	0.0000
Dosis de fertilización	2	2.5930	1.2965	40.5331	0.0000
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	1.2611	0.3153	9.8562	0.0003
Error	16	0.5118	0.0320		
Total	26	7.9461			

C.V.= 3.8232

**Tabla 4-37** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	5.19	a
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.43	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.41	b

**Tabla 4-38** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte según la dosis de fertilización fosfatada SFT

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.09	a
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.61	b
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.33	c

**Tabla 4-39** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Materia seca de follaje del ryegrass en el segundo corte según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.76	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.29	ab
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.79	bc
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.71	c
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.53	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.53	cd
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.41	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.06	d
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.03	d

**PESO SECO DE RAÍCES PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPER FOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-40** Análisis de varianza – Materia seca de raíces del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	1.6725	0.8362	0.4593	0.6398
Nivel de encalado	2	17.4645	8.7322	4.7961	0.0233
Dosis de fertilización	2	2.7408	1.3704	0.7527	0.4871
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	3.0344	0.7586	0.4167	0.7942
Error	16	29.1310	1.8207		
Total	26	54.0432			

C.V.= 12.2865

**Tabla 4-41** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Materia seca de raíces del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	12.09	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	10.66	ab
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	10.19	b

**PESO SECO DE FOLLAJE: PRIMER CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-42** Análisis de varianza – Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.1013	0.0507	0.5891	0.5664
Nivel de encalado	2	19.8082	9.9041	115.1600	0.0000
Dosis de fertilización	2	2.0455	1.0227	11.8920	0.0007
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	10.2275	2.5569	29.7301	0.0000
Error	16	1.3760	0.0860		
Total	26	33.5585			

C.V.= 2.9782

**Tabla 4-43** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Ppeso seco de follaje del ryegrass en el primer corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	11.06	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	9.26	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	9.22	b

**Tabla 4-44** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte según la dosis de fertilización fosfatada con FDA

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	10.23	a
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.71	b
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.60	b

**Tabla 4-45** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de follaje del ryegrass en el primer corte según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	11.3846	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	11.2069	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	10.5826	ab
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	10.2606	bc
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.8478	bcd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.5936	cd
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	9.3570	d
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.2275	e
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	8.1615	e

**PESO SECO DE FOLLAJE: SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-46** Análisis de varianza – Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.0157	0.0078	0.4162	0.6665
Nivel de encalado	2	3.7421	1.8710	99.4231	0.0000
Dosis de fertilización	2	1.2307	0.6153	32.6972	0.0000
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	5.1474	1.2869	68.3813	0.0000
Error	16	0.3011	0.0188		
Total	26	10.4369			

C.V.= 2.7374

**Tabla 4-47** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peos seco de follaje del ryegrass en el segundo corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	5.53	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.75	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.74	b

**Tabla 4-48** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte según la dosis de fertilización fosfatada con FDA

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.29	a
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.96	b
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.77	c

**Tabla 4-49** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de follaje del ryegrass en el segundo corte según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.93	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.51	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.49	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.18	bc
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.18	bc
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.96	cd
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.76	d
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.08	e
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.99	e

**PESO SECO DE RAÍCES PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-50** Análisis de varianza – Peso seco de raíces del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	2.2701	1.1351	0.5879	0.5610
Nivel de encalado	2	32.9063	16.4531	8.5224	0.0010
Dosis de fertilización	5	7.1294	1.4259	0.7386	0.5998
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	10	4.8456	0.4846	0.2510	0.9877
Error	34	65.6398	1.9306		
Total	53	112.7912			

C.V.= 12.0346

**Tabla 4-51** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Peso seco de raíces del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media del Logarítmico	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.5289	12.59	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.4089	11.24	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.3795	10.81	b



**NÚMERO DE BROTES: SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPER FOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-52** Análisis de varianza – Número de brotes del raíces del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.0246	0.0123	1.0702	0.3677
Nivel de encalado	2	3.3113	1.6557	143.9701	0.0000
Dosis de fertilización	2	0.0798	0.0399	3.4695	0.0578
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	0.3964	0.0991	8.6172	0.0008
Error	15	0.1725	0.0115		
Total	25	3.9846			

C.V.= 3.9122

**Tabla 4-53** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Número de brotes del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	3.23	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.53	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.46	b

**Tabla 4-54** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Número de brotes del ryegrass según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Promedio	Grupos
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.40	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.30	ab
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.00	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.67	c
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.60	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.53	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.47	cd
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.37	cd
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.33	d

**NÚMERO DE BROTES: SEGUNDO CORTE PARA LOS TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-55** Análisis de varianza – Número de brotes del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.3467	0.1733	3.7143	0.0473
Nivel de encalado	2	16.2289	8.1144	173.8810	0.0000
Dosis de fertilización	2	0.3489	0.1744	3.7381	0.0466
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	1.0489	0.2622	5.6190	0.0051
Error	16	0.7467	0.0467		
Total	26	18.7200			

C.V.= 6.4209

**Tabla 4-56** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Número de brotes del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	4.41	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	3.13	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	2.56	c

**Tabla 4-57** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Número de brotes del ryegrass según la dosis de fertilización fosfatada con FDA

Dosis de fertilización	Media	Agrupación
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.51	a
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.36	ab
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.23	b

**Tabla 4-58** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Número de brotes del ryegrass según la interacción

Nivel de encalado*Dosis de fertilización	Media	Agrupación
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.90	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.33	ab
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.00	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.27	c
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.10	cd
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	3.03	cde
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.63	de
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.60	de
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.43	e

**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL FOLLAJE DEL RYEGRASS: PRIMER CORTE PARA TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-59** Análisis de varianza - Concentración de Pb en follaje del ryegrass en el primer corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.3007	0.1504	0.0492	0.9522
Nivel de encalado	2	5.3080	2.6540	0.8678	0.4387
Dosis de fertilización	2	28.2592	14.1296	4.6198	0.0261
Encalado x Dosis	4	68.8570	17.2143	5.6284	0.0050
Error	16	48.9356	3.0585		
Total	26	151.6606			

C.V.= 102.4054

**Tabla 4-60** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Concentración de Pb en follaje del ryegrass en el primer corte según la dosis de fertilización fosfatada con SFT

Dosis de fertilización	Promedio (mg/kg)	Grupos
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.71	a
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.11	ab
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.30	b

**Tabla 4-61** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Concentración de Pb en follaje del ryegrass en el primer corte según la interacción

Nivel de encalado x Dosis de fertilización	Promedio (mg/kg)	Grupos
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.83	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	4.34	ab
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	1.98	ab
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	1.48	ab
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.89	ab
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.82	ab
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b

**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RAÍCES DEL RYEGRASS:  
TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-62** Análisis de variancia - Concentración de Pb en raíces del ryegrass del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	183.4716	91.7358	2.0819	0.1572
Nivel de encalado	2	300.1363	150.0682	3.4058	0.0586
Dosis de fertilización	2	170.4368	85.2184	1.9340	0.1769
Encalado x Dosis	4	299.1043	74.7761	1.6970	0.1998
Error	16	705.0031	44.0627		
Total	26	1658.1521			

C.V.= 12.5308

**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL FOLLAJE DEL RYEGRASS: PRIMER CORTE PARA TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-63** Análisis de varianza - Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el primer corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	1.9341	0.9670	0.6397	0.5404
Nivel de encalado	2	49.5695	24.7847	16.3945	0.0001
Dosis de fertilización	2	10.6872	5.3436	3.5347	0.0535
Encalado x Dosis	4	19.4954	4.8739	3.2239	0.0404
Error	16	24.1883	1.5118		
Total	26	105.8745			

C.V.= 83.5799

**Tabla 4-64** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el primer corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Promedio (mg/kg)	Grupos
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	3.27	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	1.12	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.01	b



**Tabla 4-65** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el primer corte según la interacción

Nivel de encalado x Dosis de fertilización	Promedio (mg/kg)	Grupos
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	5.42	a
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.56	ab
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.41	ab
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	1.85	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.96	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	b

**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL FOLLAJE DEL RYEGRASS: SEGUNDO CORTE PARA TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-66** Análisis de varianza - Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el segundo corte

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	27.1927	13.5963	4.0278	0.0383
Nivel de encalado	2	1545.8595	772.9297	228.9716	0.0000
Dosis de fertilización	2	194.9725	97.4862	28.8792	0.0000
Encalado x Dosis	4	167.8272	41.9568	12.4292	0.0001
Error	16	54.0105	3.3757		
Total	26	1989.8624			

C.V.= 11.4808

**Tabla 4-67** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el segundo corte según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Promedio (mg/kg)	Grupos
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	23.12	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	19.36	b
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	5.52	c

**Tabla 4-68** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el segundo corte según la dosis de fertilización con FDA

Dosis de fertilización	Promedio (mg/kg)	Grupos
F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	19.74	a
F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	14.72	b
F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	13.55	b

**Tabla 4-69** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Concentración de Pb en el follaje del ryegrass en el segundo corte según la interacción

Nivel de encalado x Dosis de fertilización	Promedio (mg/kg)	Grupos
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	26.09	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	22.68	ab
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.60	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	20.03	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	19.43	b
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	18.63	bc
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F3 (500 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	13.71	c
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F2 (250 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	2.85	d
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha):F1 (0 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	0.01	d

**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN RAÍCES DEL RYEGRASS:  
TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-70** Análisis de variancia - Concentración de Pb en raíces del ryegrass

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	1.2487	0.6243	0.0319	0.9687
Nivel de encalado	2	742.1478	371.0739	18.9355	0.0001
Dosis de fertilización	2	25.4369	12.7184	0.6490	0.5358
Encalado x Dosis	4	13.8798	3.4699	0.1771	0.9470
Error	16	313.5480	19.5967		
Total	26	1096.2611			

C.V.= 8.0529

**Tabla 4-71** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Concentración de Pb en raíces del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Promedio (mg/kg)	Grupos
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	59.06	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	58.28	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	47.57	b

## CONCENTRACIÓN FINAL DE PLOMO EN LA MUESTRA DE SUELO

**Tabla 4-72** Análisis de varianza - Concentración final de Pb en la muestra de suelo para tratamientos con SFT

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	21645.8270	10822.9137	5.2599	0.0176
Nivel de encalado	2	13033.4620	6516.7308	3.1671	0.0694
Dosis de fertilización	2	1551.0250	775.5126	0.3769	0.6919
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	5124.7770	1281.1943	0.6227	0.6530
Error	16	32922.2300	2057.6393		
Total	26	74277.3210			

C.V.= 6.3584

**Tabla 4-73** Análisis de varianza - Concentración final de Pb en la muestra de suelo para tratamientos con FDA

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	5501.2260	2750.6130	2.4264	0.1201
Nivel de encalado	2	1049.1310	524.5656	0.4627	0.6377
Dosis de fertilización	2	7365.2060	3682.6031	3.2485	0.0655
Encalado x Dosis	4	6204.3000	1551.0751	1.3682	0.2888
Error	16	18137.9980	1133.6249		
Total	26	38257.8610			

C.V.= 4.6907

**FACTOR BIOCONCENTRACIÓN: TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA SUPERFOSFATO TRIPLE**

**Tabla 4-74** Análisis de varianza - Factor Bioconcentración para tratamientos con SFT

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	9.6007	4.8003	4.8773	0.0222
Nivel de encalado	2	11.5657	5.7828	5.8756	0.0122
Dosis de fertilización	2	2.3432	1.1716	1.1904	0.3296
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	4	7.0149	1.7537	1.7819	0.1818
Error	16	15.7474	0.9842		
Total	26	46.2718			

C.V.= 1326.4327

**Tabla 4-75** Agrupación de promedios por el método de Tukey - Factor Bioconcentración del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0793	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0796	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0655	b

**FACTOR BIOCONCENTRACIÓN: TRATAMIENTOS CON FUENTE FOSFATADA FOSFATO DIAMÓNICO**

**Tabla 4-76** Análisis de variancia - Factor Bioconcentración para tratamientos con FDA

Fuentes	G.L	S.C.	M.C.	Valor F	Valor p
Repetición	2	0.4610	0.2305	0.5300	0.5986
Nivel de encalado	2	16.0702	8.0351	18.4770	0.0001
Dosis de fertilización	2	2.4362	1.2181	2.8011	0.0906
Nivel de encalado*Dosis de fertilización	de 4	1.1341	0.2835	0.6520	0.6338
Error	16	6.9579	0.4349		
Total	26	27.0594			

C.V.= 858.4358

**Tabla 4-77** Agrupación de promedios por el método de Tukey – Factor Bioconcentración del ryegrass según los niveles de encalado

Nivel de encalado	Media	Agrupación
E1 (0 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0822	a
E2 (3 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0824	a
E3 (6 t CaCO <sub>3</sub> /ha)	0.0659	b