

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO EN SUELOS DE DOS PARQUES  
DE LIMA USANDO *Salvia splendens* ASOCIADO CON EL HONGO  
MICORRITICO *Glomus intraradices*”**

**Tesis para optar el Título de:  
INGENIERO AGRONOMO**

**EDUARDO ALEJANDRO VICENTE RAMOS**

LIMA – PERU

2019

---

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“FITOEXTRACCION DE PLOMO EN SUELO DE DOS PARQUES DE LIMA  
USANDO *Salvia splendens* ASOCIADO CON EL HONGO MICORRITICO *Glomus  
intraradices*”**

Presentada por:

**EDUARDO ALEJANDRO VICENTE RAMOS**

Tesis para optar el Título de  
**INGENIERO AGRONOMO**

Sustentada y Aprobada por el siguiente jurado:

.....  
Ing. Mg. Sc. Carlos Cadenas Giraldo

**PRESIDENTE**

.....  
Ing. Mg. Sc. Lily Tello Peramás

**ASESORA**

.....  
Ing. Mg. Sc. Rubén Bazán Tapia

**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Termine de redactar esta tesis con mucha curiosidad de aprender más del tema, hasta el último momento he estado pensando cómo mejorarla. Me limitan mis conocimientos actuales, sin embargo es por esto mismo que le tengo un especial cariño pues simboliza todo el esfuerzo que le puse y el apoyo que recibí. Personalmente terminar esto significa mucho para mí, y es por esto que esta tesis se la dedico a mi madre, Julia Ada Ramos Coria, quien estará presente en este y todos los artículos que vaya a publicar de ahora en adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A todos mis compañeros y profesores que me brindaron su apoyo cuando lo necesitaba. Al personal del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina y al personal del Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas, y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. A mi familia que me ayudo y me aconsejo constantemente. Muchas gracias a todos.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.1.	MUESTREOS .....	3
2.1.1.	MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN .....	3
2.1.2.	MUESTREO DE DETALLE.....	4
2.2.	<i>Salvia splendens</i> var. “Red Vista”.....	5
2.2.1.	TAXONOMIA .....	6
2.3.	PLOMO .....	8
2.3.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	8
2.3.2.	PLOMO EN EL SUELO .....	9
2.3.3.	PLOMO EN LAS PLANTAS.....	11
2.3.4.	PLOMO Y LA SALUD HUMANA .....	13
2.4.	MICORRIZAS ARBUSCULARES.....	15
2.4.2.	DESARROLLO DE LA SIMBIOSIS.....	16
2.4.3.	MICORRIZAS EN SUELOS CONTAMINADOS .....	17
2.5.	FITORREMEDIACION DE SUELOS .....	18
2.5.1.	PLANTAS HIPERACUMULADORAS .....	19
III.	METODOLOGÍA .....	21
3.1.	MATERIALES.....	21
3.2.	DISEÑO ESTADÍSTICO.....	22
3.3.	UBICACIÓN DEL BIOENSAYO .....	23
3.4.	MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE SUELO .....	23
3.5.	INSTALACION DEL BIOENSAYO .....	25
3.5.1.	PREPARACIÓN DE MACETAS .....	25
3.5.2.	ALMACIGO E INOCULACIÓN DE MICORRIZAS .....	27
3.5.3.	TRASPLANTE A MACETAS .....	27
3.7.	VARIABLES Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN .....	29
3.8.	METODOLOGÍA DE COSECHA .....	29
3.9.	DIGESTIÓN ACIDA .....	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	PARQUE “CAMPO DE MARTE” .....	32
4.1.1.	CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO RADICULAR .....	32

4.1.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE TALLOS Y HOJAS .....	35
4.1.3. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE LAS INFLORESCENCIAS .....	35
4.1.4. LONGITUD DE TALLO (cm) .....	36
4.1.5. LONGITUD DE INFLORESCENCIA (cm) .....	37
4.2. PARQUE “KENNEDY” .....	38
4.2.1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO RADICULAR .....	38
4.2.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE TALLOS Y HOJAS .....	41
4.2.3. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE LAS INFLORESCENCIAS .....	42
4.2.4. LONGITUD DE TALLO (cm) .....	44
4.2.5. LONGITUD DE INFLORESCENCIA (cm) .....	44
4.3. CONCENTRACION DE PLOMO (ppm) EN EL SUELO DEL PARQUE “CAMPO DE MARTE” AL FINAL DEL BIOENSAYO .....	46
4.4. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL SUELO DEL PARQUE “KENNEDY” AL FINAL DEL BIOENSAYO .....	48
4.5. FACTOR DE TRASLOCACIÓN .....	51
4.6. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN .....	51
VI. RECOMENDACIONES .....	54
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	55
VIII. ANEXOS.....	61

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación .....	4
Tabla 2: Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle .....	5
Tabla 3: Tratamientos .....	22
Tabla 4: Numero de muestras para el muestre de Identificación y el muestreo de Detalle en función al área de cada parque.....	25
Tabla 5: Caracterización de suelos del parque “Campo de Marte” y parque “Kennedy” ...	26
Tabla 6: Análisis de Metales en el suelo del parque “Campo de Marte” y parque “Kennedy” .....	26
Tabla 7: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido radicular de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte” .....	32
Tabla 8: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de tallos y hojas de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte” .....	35
Tabla 9: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de las inflorescencias de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte” .....	35
Tabla 10: Promedio de la longitud de tallos (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte” .....	36
Tabla 11: Promedio de la longitud de inflorescencias (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte” .....	37
Tabla 12: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido radicular de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy” .....	38
Tabla 13: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de tallos y hojas de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy” .....	41
Tabla 14: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de inflorescencias de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy” .....	42
Tabla 15: Promedio de la longitud de tallos (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy” .....	44
Tabla 16: Promedio de la longitud de inflorescencia (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy” .....	44
Tabla 17: Promedio de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Campo de Marte” al final del bioensayo .....	46

Tabla 18: Promedio de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Kennedy” al final del bioensayo .....	48
Tabla 19: Prueba T de Student de una muestra para comparar los valores iniciales y finales de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Campo de Marte” ....	50
Tabla 20: Pruebas T de Student de una muestra para comparar valores iniciales y finales de la concentración de plomo (ppm) en suelo del parque “Kennedy” .....	50



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama eh-pH de plomo en el suelo.....	10
Figura 2: Mapa de localización del sitio del bioensayo.....	23
Figura 3: Mapa satelital del parque “Campo de Marte” .....	24
Figura 4: Mapa satelital del parque “Kennedy” .....	24
Figura 5: Cosecha de una planta de <i>Salvia splendens</i> .....	30
Figura 6: Cantidad de plomo (ppm) acumulado en los tejidos de las raíces de las plantas que crecen en el suelo del parque Campo de Marte .....	33
Figura 7: Tratamientos sin micorrizas en suelo del parque “Campo de Marte” un día antes de la cosecha.....	34
Figura 8: Tratamientos con micorriza en suelo del parque “Campo de Marte” un día antes de la cosecha.....	34
Figura 9: Curva de crecimiento de las plantas en suelo del parque “Campo de Marte” .....	37
Figura 10: Concentración de plomo (ppm) en las raíces bajo la influencia de distintas calidades de agua en suelo del parque Kennedy.....	38
Figura 11: Concentración de plomo en el tejido de las raíces bajo la influencia de dos niveles de micorrizas en suelo del parque Kennedy .....	39
Figura 12: Concentración de plomo (ppm) el tejido de las raíces con diferentes calidades de agua y dos niveles de micorriza.....	40
Figura 13: Concentración de plomo (ppm) en el tejido de las raíces bajo la influencia de dos niveles de micorrizas en un suelo del parque Kennedy (suelo no contaminado).....	41
Figura 14: Tratamientos en suelo del parque Kennedy un día antes de la cosecha.....	43
Figura 15: Longitud de inflorescencias influenciadas por dos niveles de micorriza en el suelo.....	45
Figura 16: Curva de crecimiento de las plantas en suelo del parque “Kennedy” .....	46

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque Campo de Marte .....	61
Anexo 2: Concentración de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque Kennedy.....	62
Anexo 3: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de detalle en el parque Campo de Marte.....	62
Anexo 4: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque “Kennedy” .....	63
Anexo 5: Análisis estadísticos de la concentración de plomo en los tejidos de las plantas en suelo del Campo de Marte.....	63
Anexo 6: Análisis estadísticos de la concentración de plomo en los tejidos de las plantas en suelo del parque “Kennedy” .....	65
Anexo 7: Análisis estadístico de la longitud de los tallos .....	66
Anexo 8: Análisis estadístico de la longitud de las inflorescencias .....	67
Anexo 9: Mediciones de altura de tallo (cm) .....	68
Anexo 10: Mediciones de longitud de inflorescencia (cm).....	83
Anexo 11: Concentración de plomo en tallos y hojas .....	93
Anexo 12: Concentración de plomo en inflorescencias .....	94
Anexo 13: Concentración de plomo en las raíces.....	95
Anexo 14: Longitud (cm) final del tallo.....	96
Anexo 15: Longitud (cm) final de las inflorescencias.....	97
Anexo 16: Muestreo de comprobación de los tratamientos en suelo del parque “Campo de Marte” al final del bioensayo.....	98
Anexo 17: Muestreo de comprobación de los tratamientos en suelo del parque “Kennedy” al final del bioensayo.....	99
Anexo 18: Análisis factorial de la concentración de plomo (ppm) en las muestras de comprobación .....	100
Anexo 19: Prueba T de Student de una muestra para comparar concentraciones iniciales y finales de plomo (ppm) en suelo del parque Kennedy.....	102
Anexo 20: Prueba T de Student para comparar concentraciones iniciales y finales de plomo (ppm) en suelo del parque Campo de Marte .....	104
Anexo 21: Cantidad de plomo extraído (ppm) de cada unidad experimental .....	106
Anexo 22: Análisis del agua de riego de Huachipa usada en el bioensayo.....	108

## RESUMEN

La gasolina usada en vehículos motorizados contuvo plomo como uno de sus principales componentes por mucho tiempo, esto solo cambio luego del año 2006 cuando el gobierno prohibió la comercialización de gasolina con plomo en su composición. Esto sucedió hace solo unos años y luego de poco más de un siglo de constante actividad del parque automotor, de esta forma consideramos que existe una gran posibilidad de que la mayoría de suelos urbanos estén contaminados con este metal pesado. Las plantas hiperacumuladoras podrían ser la solución a este problema; estas plantas extraen y acumulan metales pesados del suelo en su tejido sin mostrar signos de toxicidad. El uso de plantas hiperacumuladoras en estrategias de fitorremediación es realizado *in situ* y es amigable con el ambiente, debido a esto es probablemente una de las mejores opciones para las áreas urbanas. Desafortunadamente no hay muchas especies conocidas de plantas hiperacumuladoras para áreas urbanas. Realizamos este bioensayo para determinar la capacidad de fitoextracción de plomo del suelo de *Salvia splendens* var. "Red Vista". El bioensayo fue establecido en las instalaciones del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, duro cuatro meses y también se usó el hongo micorrítico *Glomus intraradices* en algunos tratamientos para probar la eficiencia de las micorrizas en la extracción de plomo en el suelo. Las plantas fueron cosechadas y divididas en tres partes: Raíces, tallos y hojas, e inflorescencias para observar la dinámica de plomo en la planta. Los resultados finales mostraron que *Salvia splendens* var. "Red Vista" no acumula grandes cantidades de plomo en su tejido aun cuando está asociado con *Glomus intraradices* y debido a esto no debe ser considerado para técnicas de fitoextracción de plomo.

**Palabras clave:** *Salvia splendens*; Micorrizas; Plomo.

## ABSTRACT

The gasoline used for vehicles contained lead as a main component for a long time, this only changed after 2006 when the government banned the commerce of gasoline with lead as a component. This happened only a few years ago after a century of constant activity, thus we consider there is a high chance that most urban soils are polluted with this heavy metal. Hiperaccumulator plants might be the solution for this problem; these plants take and store heavy metals from the soil in its plant tissue showing no symptoms of toxicity. The use of hiperaccumulator plants in phytoremediation strategies does not need high amounts of money; it is also *in situ* and friendly with the environment, because of this it is probably one of the best options for the urban areas. Unfortunately, there are not many known species of hiperaccumulator plants for urban environments. We made this bioassay to find out the capacity of *Salvia splendens* var. "Red Vista" as a hiperaccumulator plant. The bioassay was established in the Soil Fertility Laboratory of the Agronomy Faculty in the National Agrarian University La Molina, it lasted four months and we also used *Glomus intraradices*, a mycorrhizal fungi, in some traits to test the efficiency of mycorrhizae in the extraction of lead in the soil. The plants were harvest and divided in three parts: Root, leaves, and inflorescence to see the dynamic of lead in the plant. The final results shows that *Salvia splendens* var. "Red Vista" does not accumulate high amounts of lead in its plant tissue even when it is associated with *Glomus intraradices* and because of this it should not be considered for phytoextraction techniques.

**Keywords:** *Salvia splendens*; mycorrhizae, lead.

## I. INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes de las zonas urbanas han estado tanto tiempo expuestas a los gases subproducto de la quema de combustibles fósiles que no es difícil imaginar que actualmente puedan ser una fuente importante de contaminación de plomo y otros metales pesados para las personas y animales que frecuentan estos lugares. En el Perú el uso de la gasolina con plomo en su composición está prohibido desde el primero de enero del año 2005 gracias al decreto supremo 019-MEM emitido en 1998 que fijaba esa fecha límite para que las refinerías dejen de producir la gasolina de 84 octanos con ese aditivo contaminante (Tamayo *et al.*, 2015; OSINERGMIN, 1998), sin embargo, el plomo tiende a mantenerse en los primeros 10cm de la superficie del suelo por muchos años.

El plomo es un elemento extremadamente toxico especialmente para los niños pues su desarrollo cognitivo puede llegar a verse afectado severamente, aunque lamentablemente a veces los síntomas pueden pasar desapercibidos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que no existe un nivel de plomo en la sangre que pueda ser considerado como seguro. Incluso a concentraciones de 5 µg/dL de plomo en la sangre, antes considerado como nivel seguro, se pueden presentar efectos nocivos para el organismo. Según la Organización Mundial de la Salud (2014) el plomo en bajas concentraciones (menos de 5 µg/dL en la sangre) puede generar daños permanentes principalmente a la capacidad cognoscitiva, trastornos del comportamiento e incluso hipertensión arterial, además de generar otros síntomas no permanentes como la anemia, fatiga, dolor de cabeza, insomnio, y disturbios gastrointestinales. Estos síntomas son muy difíciles de relacionar con una intoxicación leve con plomo pues en su mayoría son tan comunes que suelen ser confundidos síntomas originados por causas muy diferentes.

En esta tesis se propone determinar la capacidad de extracción de plomo en el suelo de la especie *Salvia splendens* var. "Red Vista" y los efectos que tiene la inoculación del hongo micorrítico *Glomus intraradices* en la fitoextracción de dicho metal pesado. Existen estudios

similares en otras especies como en el Rye grass (Alfaro, 2004), una especie muy útil pues puede cubrir grandes extensiones, y se espera expandir la corta lista de especies que pueden ser usadas en un plan de fitorremediación urbana.

*Salvia splendens* es una especie con un gran valor ornamental y con un manejo ya conocido en muchos de los jardines y viveros de Lima. Según literatura revisada, la variedad ‘Sello Torreador’ de la especie *Salvia splendens* tiene capacidad fitoextractora por lo que la variedad “Red Vista” tiene un gran potencial. Aun así hay que investigar capacidad fitoextractora de distintas variedades de *Salvia splendens* y su respuesta de crecimiento y desarrollo ante la presencia de altos niveles de plomo.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Determinar la capacidad de extracción de plomo en el suelo de la especie *Salvia splendens* var. “Red Vista”
- Determinar la capacidad de extracción de plomo en el suelo de la especie *Salvia splendens* var. “Red Vista” cuando está asociado con el hongo micorrítico *Glomus intraradices*.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. MUESTREOS**

#### **2.1.1. MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN**

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017). Los resultados analíticos del Muestreo son comparados inicialmente con los ECA del suelo, y se identifican aquellos que superen los límites establecidos para su uso en el experimento. El contaminante (parámetro) en este caso es el plomo suelo. El número de puntos de muestreo se determina respetando el número mínimo de puntos de muestreo indicados por el Ministerio del Ambiente (MINAM) que detallamos en la Tabla 1. Será necesario el uso de un GPS para poder marcar e identificar los puntos de muestreo. La profundidad del muestreo se realiza en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. Se determina el área de potencial interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio (MINAM, 2014)

#### **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en el Perú**

Estos estándares tienen su origen antes de la creación del actual ministerio del ambiente, inician en el año 1998 con el Consejo Nacional del Ambiente (Conam) en donde se aprueba el primer reglamento para los ECA del país. En el año 2008 se aprueban los ECA del agua y se actualizan los del aire. El ECA de suelos fue actualizado por última vez en diciembre del 2017, y tiene como objetivo ser un instrumento de gestión ambiental para medir el estado de la calidad ambiental en el territorio nacional. Los ECA ya eran usados por otros países mucho antes que Perú los comenzara a usar, la elaboración de ECA para el país tiene influencia de varios países, pero se suele comparar con los países cercanos debido a la similitud de institucionalidad ambiental para facilitar su aplicación (Solano *et al.*, 2017).

**Tabla 1: Número de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación**

<b>AREA DE POTENCIAL INTERES (Ha)</b>	<b>PUNTOS DE MUESTREO EN TOTAL</b>
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

FUENTE: MINAM (2014)

### **2.1.2. MUESTREO DE DETALLE**

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen del suelo contaminado en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación. El muestreo de detalle, cuantifica y delimita las zonas de afectación del suelo, tanto en espacio y tiempo.

Para el Muestreo de Detalle deberá tomarse un número de puntos mínimos de muestreo establecidos por el MINAM que se detalla en la Tabla 2.



**Tabla 2: Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle**

<b>PUNTOS DEL MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN QUE SUPERAN LOS NIVELES DE ECA</b>	<b>PUNTOS DE MUESTREO EN EL MUESTREO DE DETALLE</b>
1	4
2	6
3	7
4	9
5	11
6	13
7	14
8	16
9	18
10	20
15	28
20	37
25	46
50	90

FUENTE: MINAM (2014).

## **2.2. *Salvia splendens* var. “Red Vista”**

En la investigación de Nowak (2007) se observa que la variedad “Sello torreador” de la especie *Salvia splendens* puede llegar a tener una concentración de hasta 300 ppm de plomo en su tallo y hojas cuando crece en un suelo que supera los límites establecidos por el ECA de suelos. El límite establecido de plomo en el suelo es de 140 ppm para parques y suelos residenciales y fue publicado por el Ministerio del Ambiente en el periódico oficial del gobierno “El Peruano” el 2 de diciembre del 2017 (Ministerio del Ambiente, 2017). Esto nos hace pensar que la variedad “Red Vista”, una planta ornamental comúnmente usada en los parques de Lima, pueda tener características similares.

### 2.2.1. TAXONOMIA

<b>Familia</b>	:	Lamiaceae
<b>Subfamilia</b>	:	Nepetoideae
<b>Tribu</b>	:	Menteae
<b>Subtribu</b>	:	Salviinae
<b>Género</b>	:	Salvia
<b>Especie</b>	:	<i>Salvia splendens</i>

### IMPORTANCIA ECONOMICA

- **Ambiental** : **Ornamental**

### RANGO DISTRIBUCIONAL

- **Nativa** : **Sudamérica (Brasil)**
- **Cultivada** : **Cultivada ampliamente en muchos países**

FUENTE: U.S. National Plant Germplasm System (2014)

Una semilla típica de *Salvia splendens* tiene un tamaño de 3 mm. La plántula dicotiledónea emergente es epigea. Suelen emerger aproximadamente a las 2 o 3 semanas después de la siembra.

Las raíces están orientadas alrededor de la raíz principal, es un sistema radicular alorrízico. Cuando la planta comienza a crecer se comienzan a formar muchas raíces laterales a partir de la raíz principal, luego, estas raíces laterales comienzan a profundizar de forma que pueden absorber agua y nutrientes. Este sistema radicular profundo también sirve como un buen asidero al suelo.

Los tallos tienen forma cuadrada, característica que comparten con otras especies de la familia de las Lamiaceae. Los tallos se presentan en posiciones opuestas.

Las yemas axilares de los pares de hojas opuestos aparecen al mismo tiempo, de forma que

la simetría se mantiene durante el crecimiento. Cada una de estas ramas secundarias es, básicamente, una imagen del tallo principal, por lo que también serán bilateralmente simétricas.

Los tallos y ramas son más gruesos en los extremos basales y más delgados en el extremo proximal.

La inflorescencia de la planta puede ser clasificada como un racimo debido a la elongación intermodal que posee. La longitud de los entrenudos es inicialmente grande y va disminuyendo posteriormente. Mientras tanto en la parte vegetativa la longitud de los entrenudos gradualmente se incrementa para luego comenzar a disminuir.

Las hojas de *Salvia splendens* son simples, normalmente bifaciales y simétricas. Inicialmente el eje principal de las hojas es largo y angosto, con el tiempo la base de la hoja se comienza a ensanchar dándole a la hoja su forma ovalada característica.

Mientras que el ápice del tallo y las ramas se acercan a su transformación en inflorescencia, las hojas más cercanas a este extremo van reduciendo su tamaño. El área de los tallos cerca a las inflorescencias pueden cambiar su coloración, de verde pálido a rojo escarlata similar al de las flores.

Durante la elongación de la rama internodal de la inflorescencia los cálices se van formando precozmente. El cáliz está fusionado y encierra de esta forma al resto de la flor.

Los filamentos de los estambres y los estilos del carpelo están fusionados a la corola. Hay dos estambres y cada uno consiste de un filamento con una teca fértil y otra estéril. El carpelo superior y el ovario perigineo están fusionados al cáliz.

La corola, junto con el estambre y el estilo fusionados, rápidamente caen luego de emerger del calix abierto, dejando solo una pequeña ventana de oportunidad abierta para que los polinizadores puedan polinizar la flor. El calix se mantiene para proteger a los ovarios mientras los ovarios fertilizados se desarrollan (Kaplan, 2001).

## **2.3. PLOMO**

### **2.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES**

El plomo es un elemento químico cuyo símbolo es Pb (del latín *Plumbum*) y su número atómico es 82. Es un metal pesado que es más denso que la mayoría de materiales comunes. El plomo es suave y maleable, y tiene un punto de fusión relativamente bajo (324,4 °C). Kabata-Pendias (2011) menciona que se conocen dos tipos de plomo en el ambiente terrestre: Primario y secundario. El plomo primario es de origen geogénico y fue incorporado a los minerales al momento de su formación; el plomo secundario es de origen radiogénico del deterioro de Uranio y Terbio.

Bradl (2005) menciona dos fuentes de contaminación de plomo, una fuente natural y una fuente antropogénica. Las fuentes naturales que proviene del material parental, esta no es considerada como una fuente de contaminación importante al menos al corto plazo. Usualmente en las zonas contaminadas con plomo se observa que la principal fuente de contaminación son las fuentes antropogénicas; la mayoría de compuestos de plomo son muy volátiles, esto hace que el plomo sea rápidamente emitido en procesos de alta temperatura como la fundición de minerales y el uso de petróleo con plomo en los automóviles. El plomo tiende a adherirse a las partículas más pequeñas en estas emisiones por lo que son fácilmente transportadas grandes distancias principalmente por efecto del viento.

En nuestro país la principal fuente de contaminación de plomo en las áreas urbanas es la antropogénica, su relativa abundancia y bajo costo resulto en su uso extensivo en construcción, plomería, baterías, aleaciones fusibles, pinturas, y gasolina. El uso de pintura con plomo en su composición se remonta hace muchos años y está presente en las construcciones más antiguas; históricamente por muchos años fue la principal fuente de contaminación en las zonas urbanas. Con la aparición y expansión del parque automotor en el país la principal fuente de contaminación antropogénica fue el uso de combustible con plomo en su composición, y en nuestro país el uso de la gasolina con plomo en su composición está prohibido desde el primero de enero del año 2005 gracias al decreto supremo 019-MEM emitido en 1998 que fijaba esa fecha como tope para que las refinerías

dejen de producir la gasolina de 84 octanos con ese aditivo contaminante (Tamayo, *et al.* 2015; OSINERGMIN, 1998).

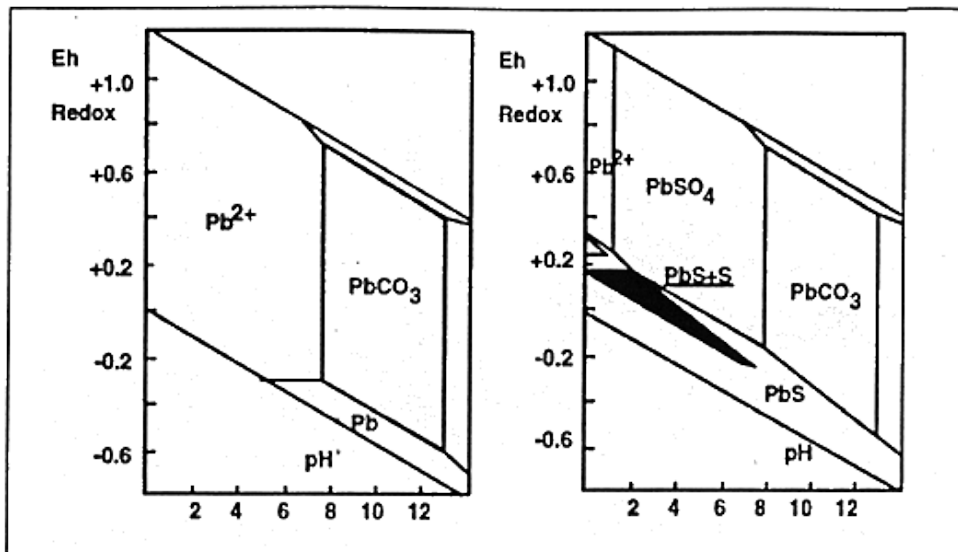
En las zonas no urbanas la principal fuente de contaminación de plomo al igual que de otros metales pesados es la minería, una actividad extractiva fundamental en el Perú de la cual desafortunadamente se derivan muchos subproductos peligrosos para el ambiente. Aun luego de muchos años desde que se comenzó a regular fuertemente esta actividad existe un lado informal que le causa mucho daño al país. La minería ilegal más que cualquier otra actividad acarrea serios problemas de contaminación de aire, agua y suelo afectando la salud de la población.

### **2.3.2. PLOMO EN EL SUELO**

El comportamiento del plomo en el suelo depende mucho del contenido de materia orgánica, Madrid *et al* (2008) menciona que con la excepción de mercurio (Hg) y cobre (Cu) el plomo (Pb) es el metal pesado que más fuertemente es adsorbido por la materia orgánica del suelo, la materia orgánica del suelo puede también facilitar la movilidad del plomo al formar complejos de este metal con ácidos fulvicos (Bradl, 2005). En ausencia de alguna cantidad considerable de materia orgánica el plomo es fuertemente adsorbido por los minerales arcillosos. Otros factores que afectan fuertemente el comportamiento del plomo en el suelo son el pH, el potencial redox, y la capacidad de intercambio catiónico (Alloway & Steinnes 2011).

Según Kabata-Pendias (2011) la distribución de plomo en los suelos muestra una afinidad y correlación positiva con la fracción granulométrica más fina. Menciona además que la distribución del plomo dentro de los perfiles del suelo no es uniforme, lo primero que se observa es una tendencia: la acumulación de Pb cerca de la superficie de suelos lo que responde principalmente a su facilidad a ser adsorbido por la materia orgánica. Visto de esta forma la materia orgánica juega un rol importante en la adsorción y movilidad del Pb, sin embargo la fijación por minerales arcillosos es mucho más fuerte. En general la movilización del Pb es lenta pero algunos factores del suelo como la acidez, formación de complejos con materia orgánica pueden incrementar la solubilidad y movilidad.

En el suelo el plomo tiende a estar presente en muchas formas iónicas, algunas más estables que otras. En la práctica el diagrama de potencial Eh-pH suele ser el que mejor grafica la distribución de las formas iónicas de plomo.



**Figura 1: Diagrama eh-pH de plomo en el suelo**

La fase estable dominante es  $PbCO_3$ , que se hace más inestable si las condiciones ambientales son más ácidas. La forma de ion divalente de plomo, que es la forma disponible para la planta, no suele estar presente a pH altos.

#### **a. BIODISPONIBILIDAD DEL PLOMO**

El ion divalente de plomo ( $Pb^{+2}$ ) es la forma más disponible para planta y es la que suele estar presente en la solución suelo, sin embargo esta forma es también la menos común pues el plomo tiende a precipitar fácilmente con muchos aniones para formar compuestos estables. Por ejemplo, en medios alcalinos se produce la precipitación del hidróxido de plomo ( $Pb^{+2}+2OH \rightarrow Pb(OH)_2$ ) (Lucena, 2006).

Para las técnicas de fitorremediación es crucial el conocimiento de la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, y es que aunque en el suelo exista una alta concentración de plomo solo algunas formas o especies químicas del plomo se encuentran disponibles para la planta (Davidson, 2008). Por ejemplo antes de iniciar una estrategia de fitoextracción de

plomo es necesario primero que el plomo se encuentre disponible, y aunque a veces esto no sucede se pueden modificar algunas características del suelo para favorecer la presencia de las especies químicas disponibles del metal para la planta. Según Galán (2003) existen ocho características del suelo a considerar que determinan cada uno en distinta forma la biodisponibilidad del plomo: 1. El pH, pues la mayoría de metales tienden a estar más disponibles a pH ácidos porque son menos fuertemente adsorbidos; 2. La textura, en suelos arcillosos se retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio mientras que en un suelo arenoso no existe una gran capacidad de fijación y usualmente los metales se lixivian pudiendo llegar al nivel freático; 3. Mineralogía de arcillas; 4. Materia orgánica, que reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos; 5. Capacidad de cambio, que está en función del complejo de arcillas y del contenido de materia orgánica; 6. Condiciones redox, junto con el pH es un muy buen indicador de la estabilidad del metal pesado en el suelo; 7. Presencia de Carbonatos, porque su presencia garantiza que hayan altos niveles de pH y en esas condiciones el plomo al igual que muchos otros metales pesados suelen precipitar; 8. Salinidad, que puede incrementar la movilización o retención de metales, por ejemplo los cationes de Na y K pueden reemplazar a metales pesados en lugares de intercambio catiónico.

### **2.3.3. PLOMO EN LAS PLANTAS**

Aunque el plomo está siempre presente en las plantas al menos en pequeñas cantidades no se han presentado aún pruebas de que tenga algún rol esencial en el metabolismo de ninguna especie. Grandes concentraciones de plomo pueden inhibir el crecimiento de la planta al interferir con la producción de clorofila (Shabala, 2012). Aunque suele existir una correlación positiva entre la cantidad de plomo en el suelo y la cantidad de plomo absorbido por la planta se ha descubierto que la cantidad total de plomo en el suelo no determina la cantidad de plomo disponible en solución suelo. Es difícil saber cuánto plomo en el suelo puede estar disponible para las plantas. Algunos autores como Kabata-Pendias (2011) afirman que el plomo disponible para las plantas suele estar entre un 0.003-0.1% del plomo total en el suelo. La absorción de plomo por las plantas depende de muchas propiedades del suelo: materia orgánica, composición granulométrica, capacidad de intercambio catiónico, pH, así como factores genéticos de la planta, área superficial de la raíz y exudados radiculares. Además la absorción de plomo por las raíces se da de forma pasiva y la velocidad

en que se lleva a cabo se ve reducida por el encalado y las bajas temperaturas. Cuando el plomo está presente en formas solubles en la solución suelo, las raíces de las plantas son capaces de tomar una gran cantidad de este metal. La velocidad de absorción disminuye con el encalado y con las bajas temperaturas. En general se trasloca muy poco plomo de las raíces a los tallos y hojas. Davidson (2008) menciona que el plomo al igual que otros metales pesados es transportado en la planta a través de su membrana en su forma de cationes. El proceso principal por el que el plomo se acumula en el tejido de las raíces es por su deposición, principalmente como pirofosfato de plomo, en las paredes celulares. El plomo en el aire es también una fuente importante de contaminación y puede ser rápidamente tomado por las plantas a través del follaje. Aunque es probable que el plomo depositado en las hojas se lave con las lluvias es muy probable que se llegue a traslocar una gran parte (Kabata-Pendias, 2011).

#### **a. MECANISMOS DE TOLERANCIA**

Según Alarcón (2013) los mecanismos de tolerancia para el plomo como para los otros metales pesados pueden ser clasificados en dos formas: Mecanismos externos de tolerancia y mecanismo internos de tolerancia. Indica además que existe un criterio de múltiple tolerancia en las plantas según el cual más de un mecanismo está en actividad a la vez. Los *mecanismos externos de tolerancia* están regulados principalmente por microorganismos del suelo siendo los más importantes los microorganismos rizosféricos, y los *mecanismos internos de tolerancia* son regulados principalmente por los exudados radicales, los enlaces a la pared celular, la selectividad de la membrana celular, la quelación por diversos ligandos en el citosol, y la acumulación de los metales en la vacuola.

*Los Exudados radicales* están formados principalmente por ácidos orgánicos de bajo peso molecular generados en el interior de la mitocondria, en el citosol y en la vacuola de las células vegetales. La importancia de los ácidos orgánicos en la tolerancia a metales en el sistema radical se debe a que estos pueden influir en la solubilidad de elementos esenciales y no esenciales de manera directa mediante acidificación, quelación, precipitación y procesos de óxido-reducción en la rizósfera y de forma indirecta a través de efectos en la actividad microbiana en las propiedades físicas de la rizósfera y en la dinámica de crecimiento de la raíz.



El sistema radical puede secretar ácido cítrico, ácido málico y ácido oxálico los cuales pueden actuar como agentes quelatantes, evitando o facilitando la absorción de metales por la formación de complejos ácidos orgánicos-metal. La planta puede crear *enlaces del metal a la pared celular*, el arreglo estructural de la celulosa y la lignina le permite a las plantas formar enlaces covalentes a través de sus átomos de oxígeno con los metales; secuestrándolos en el apoplasto. *La selectividad de la membrana celular* puede reducir la entrada y salida activa de metales del citosol al apoplasto. Esto está regulado por proteínas de membrana. Las plantas han desarrollado estrategias enfocadas en mantener la estabilidad de la membrana y la homeostasis celular mediante la entrada selectiva de iones. *La quelación de los metales por diversos ligandos en el citosol* se puede explicar cómo la capacidad de una molécula para formar un complejo con un metal y así formar un nuevo compuesto con propiedades químicas diferentes al original. Los ligandos de alta afinidad mejor caracterizados en las células de las plantas son las fitoquelatinas y metalotioneínas. El mecanismo de acción de las fitoquelatinas en las plantas, según Alarcón (2013) consiste en el ingreso de iones de metales al citosol mediante proteínas de membrana y la inducción del gen de la fitoquelatina sintetasa. Esto conduce a la formación de complejos no tóxicos con iones de metales; este complejo posteriormente se une a iones ( $S^{2-}$ ) en el citosol estabilizando al complejo de bajo peso molecular y formando así moléculas complejas con alto peso molecular. Después estas moléculas atraviesan el tonoplasto y una vez dentro de la vacuola los ácidos orgánicos presentes (citrato, malato) retienen a los iones de los metales y disocian el complejo fitoquelatina-metal. *La acumulación de metales en la vacuola* conlleva a la reserva de metabolitos, nutrientes y participan en el proceso de regulación homeostática del citosol. Existe una gran correlación positiva entre la tolerancia y una mayor vacuolación de las células del meristemo de la raíz (Alarcón, 2013).

#### **2.3.4. PLOMO Y LA SALUD HUMANA**

En una investigación realizada por Tello *et al.* (2018) se determinó que el suelo de tres Grandes Parques de Lima (GPL) se encuentra contaminado (parque Campo de Marte, parque “Bosque el Olivar”, y parque “Pentagonito”) y que al menos otros dos GPL (parque “Zoológico de Huachipa” y parque “Las Leyendas”) presentan áreas aisladas en donde el suelo está contaminado. Todos estos parques son zonas muy transitadas con un constante flujo de personas que se dirigen a realizar actividades recreativas; sin embargo, durante su

estadía en estos parques es probable que el plomo en el suelo ingrese a su cuerpo ya sea por ingestión, inhalación u otros medios. La población más vulnerable a la intoxicación por plomo son los niños más pequeños, su curiosidad natural los hace propensos a ingerir objetos que podrían estar contaminados con plomo como la tierra contaminada de los parques o las escamas de pintura que se caen de construcciones antiguas además de juguetes o piezas de estos mismos que tienen una cobertura de plomo. Aunque la ingestión del plomo pueda ser la más común en las áreas urbanas el mayor peligro proviene definitivamente de la inhalación de vapor o polvo (Bacon, 2008). Los niños tienden a absorber más plomo que los adultos, en especial los niños con desnutrición que absorben más plomo en carencia de otros nutrientes, como el calcio. La población más vulnerable son los niños de corta edad, especialmente aquellos que viven en países pobres y en países en vías de desarrollo. Una vez absorbido, el plomo se redistribuye al cerebro, hígado, riñones y huesos, depositándose principalmente en los huesos. Con el tiempo, el plomo almacenado en los huesos puede circular en la sangre volviéndose un riesgo latente para todos incluyendo a las mujeres embarazadas que pueden transmitir la contaminación al feto en desarrollo. Para evaluar el grado de exposición humana, se suele medir la concentración de plomo en sangre (OMS, 2018).

#### **a. EFECTOS DE LA INTOXICACIÓN POR PLOMO**

El plomo tiene graves consecuencias tanto en la salud de los niños como de los adultos. Ante exposiciones elevadas ataca al cerebro y el sistema nervioso central pudiendo generar convulsiones, coma o incluso la muerte. Aunque lograsen sobrevivir, suelen quedar secuelas terribles como retraso mental en los niños más pequeños. Se ha comprobado además que en niveles de exposición más débiles sin síntomas evidentes, antes considerados exentos de riesgo, el plomo puede provocar alteraciones muy diversas en varios sistemas del organismo humano. En los niños afecta el desarrollo normal del sistema nervioso generando problemas de aprendizaje, bajo rendimiento escolar, conductas antisociales, etc. Ante exposiciones más débiles también se genera anemia, disfunción renal e hipertensión. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles. Se considera, además, que no existe un nivel de concentración de plomo en sangre que pueda considerarse exento de riesgo (OMS, 2014).

## **2.4. MICORRIZAS ARBUSCULARES**

Peterson *et al.* (2004) define a las micorrizas arbusculares como asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de la mayoría de plantas vasculares y un grupo de hongos micorrícicos pertenecientes al phylum glomeromicota. Lo anterior significa que los hongos micorrícicos son organismos biótrofos, es decir son incapaces de completar su ciclo de vida sin una planta hospedante. Según Ferrero-Cerrato (2000) actualmente la base de esta relación simbiótica es nutricional, una micorriza arbuscular funcional la planta le cede al hongo productos carbonados derivados de la fotosíntesis y en contrapartida el micosimbionte aporta a la planta nutrimentos minerales y agua obtenidos como consecuencia de su mayor accesibilidad a recursos distantes del sistema radical. Además aunque la base de la simbiosis sea nutricional también existen otros beneficios derivados de esta asociación, como lo son una mayor resistencia de la planta micorrizada al ataque de patógenos que afectan al sistema radical, a la presencia de metales pesados en el suelo, o al estrés hídrico.

### **2.4.1. ESTRUCTURAS PRINCIPALES**

Según Souza (2015) las estructuras principales de las micorrizas arbusculares son las hifas intraradicales, las hifas extraradicales, los arbusculos, las vesículas y las esporas. *Las hifas Intraradicales* se forman al inicio de la fase simbiótica a partir de las células del apresorio y poseen un tamaño limitado inicialmente. Las hifas intraradicales, formadas por micelio cenocítico, forman la unidad de infección o colonización del hongo, y su longitud y extensión dependen de la interacción entre el hongo y la planta. Las hifas intraradicales son capaces de transferir nutrientes, metabolitos y agua del exterior hacia la planta, e intercambiarlos de esta forma por fuentes de energía como la hexosa. Cuando ya están dentro de la zona cortical se pueden diferenciar en vesículas, esporas o arbusculos. *Las hifas extraradicales* se forman en dos momentos: en la fase pre-simbiótica luego del reconocimiento químico y molecular entre los simbioses, y luego de la colonización micorrícica del hongo. Posee crecimiento indefinido, pueden expandirse más allá de la zona de la rizósfera pero esto depende de las condiciones del suelo, como el pH y la cantidad de fósforo, y de las interacciones planta-hongo. Las células de las hifas extraradicales son similares a las intraradicales excepto en un aspecto: las células extraradicales son más anchas, lo que les permite soportar más estrés. Se pueden clasificar en tres tipos: Hifas

infectivas, que se diferencian en apresorios; hifas de absorción que se forman a partir del apresorio; y las hifas de reproducción, que luego de la colonización pueden producir nuevas esporas (Kapulnik & Douds, 2000). *Los arbusculos*, son el lugar más importante de intercambio entre planta y hongo. Se forman en el cortex de la planta aproximadamente dos días después de la colonización radicular y tienen un tiempo de vida bastante corto en comparación con otras estructuras como las hifas y vesículas, normalmente duran solo un par de días y luego comienzan a colapsar. *Las vesículas*, que se forman en las hifas intraradicales, en las posiciones terminales o intercalares. Poseen una pared celular delgada y cumplen una función de almacenamiento pues contienen en su interior altos niveles de lípidos y glicógenos. Algunos también cumplen función reproductora pues a veces pueden formar esporas que funcionan como propagulos. Pueden formarse muy tempranamente en la fase simbiótica, o mucho después al mismo tiempo que la esporulación. Usualmente se pueden quedar, a veces en grandes cantidades, por muchos años dentro de la raíz de la planta. *Las esporas* que son las estructuras de supervivencia de los hongos. Pueden ser formadas por las hifas extra radicales, las hifas intraradicales o las vesículas. Normalmente desarrolla paredes gruesas con más de una capa. Su estado de quiescencia o activación está moderado por las condiciones de ambiente (pH, materia orgánica, humedad, temperatura, microorganismos, etc.). Su proceso de formación varía entre especies pero normalmente sucede a la 3-4 semana después de la colonización (Souza, 2015). Los hongos micorrízicos arbusculares se consideran como activos, es decir infecciosos, cuando han formado al menos un tubo germinativo (Kapulnik & Douds, 2000).

#### **2.4.2. DESARROLLO DE LA SIMBIOSIS**

Todo inicia con la germinación de la spora, esta fase es conocida como asimbiótica pues no depende de la presencia del hospedante si no de condiciones bióticas y abióticas del ambiente como la humedad, el pH, la materia orgánica, microorganismos, contaminantes y la temperatura del suelo. A pesar de que la spora puede germinar, si no encuentra una planta hospedante no podrá completar su ciclo de vida por lo que procedería a la senescencia del micelio. Las condiciones requeridas para la germinación son diferentes para cada especie. Luego, si es que una planta hospedante se encuentra cerca, comenzara a interactuar con su hospedante incluso antes de hacer contacto físico. Desde antes que entren en contacto tanto el hongo como la planta intercambiarán señales químicas y moleculares entre sí. La planta

libera factores de ramificación (flavonoides, CO<sub>2</sub>, estrigolactonas) los cuales estimulan el crecimiento del micelio y la ramificación de las hifas. El micelio del hongo micorrítico sufre cambios en su metabolismo y comienza a desarrollarse. A esta fase se le llama pre-simbiótica y depende mucho de dos factores en especial: Humedad y temperatura del suelo, además del estado nutricional de la planta. Posteriormente, al hacer contacto físico con la epidermis radicular, las células de las hifas extra radiculares se van a diferenciar en apresorios. Así inicia la fase simbiótica. Los apresorios juegan un rol importante en la penetración de la epidermis radicular por parte de las hifas intraradiculares. Una vez dentro, el hongo es capaz de producir hifas intra y extra radiculares, así como vesículas, células auxiliares (solo en algunas familias), esporas, y arbusculos (estructura de intercambio nutricional más importante) aunque esto depende bastante del estado nutricional de la planta (Souza, 2015).

### **2.4.3. MICORRIZAS EN SUELOS CONTAMINADOS**

La relación simbiótica entre los hongos micorríticos y las plantas se han desarrollado por millones de años. En la actualidad se sabe que se presentan de forma natural en aproximadamente el 80% de las especies conocidas. Esta antigua relación simbiótica puede ser muy beneficiosa en la descontaminación de suelos. La red funcional de hifas extiende el área de influencia de la rizósfera lo que propicia la exploración del suelo y el aprovechamiento de recursos por las plantas. Al explorar un mayor volumen del suelo no solo se incrementa la capacidad de absorción de nutrientes esenciales sino también de metales pesados. Los hongos micorríticos tienen un mayor impacto en aquellos elementos que escasean en la zona de la rizósfera, como el fósforo y los metales pesados. De manera similar a como absorbe los nutrientes del suelo también son tomados los metales pesados. En algunos casos las plantas en simbiosis con los hongos micorríticos poseen una mayor capacidad de absorber y traslocar los metales pesados del suelo hacia la raíz y la parte aérea, fenómeno que se aprovecha para estrategias de fitoextracción, mientras que en otros casos los hongos micorríticos pueden favorecer la inmovilización de los metales pesados en el suelo, fenómeno que se aprovecha para estrategias de fitoestabilización. Dicho esto es importante mencionar que no todos los hongos micorríticos son tolerantes a los metales pesados, su tolerancia específica o múltiple depende principalmente de su genotipo. Existen cuatro mecanismos de tolerancia conocidos en los que participan los hongos micorríticos arbusculares: 1. Inmovilización extracelular de los metales por ácidos orgánicos; 2.

Reducción de la transferencia de iones del sistema radical al tallo por precipitación intracelular del metal por  $\text{PO}_4^-$ ; 3. Adsorción de los iones metálicos en la pared celular de diferentes estructuras del hongo (hifa, esporas, micelio extra radical); y 4. La retención del metal en la micorrizósfera por la producción de proteínas específicas (Alarcón, 2013)

## 2.5. FITORREMEDIACION DE SUELOS

Diversos autores definen a la fitorremediación como el uso de plantas hiperacumuladoras para remover metales pesados del suelo (Bradl, 2005; Ashraf *et al.*, 2010), varios autores como Bradl (2005) mencionan también el uso de términos como biorremediación para referirse a lo mismo. Se puede definir también como un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas (Delgadillo-López *et al.*, 2011). Los metales pesados que tienen una mayor disponibilidad y que por lo tanto son más fácilmente absorbidos por la planta son: el Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu; con un nivel medio de disponibilidad se encuentran el Co, Mn y Fe; y por último el Pb, Cr y U casi siempre se presentan como no biodisponibles (Marrero-Coto *et al.*, 2012). La concentración de plomo en los órganos de las plantas suele ir en el orden decreciente: Raíz, hojas, tallo, inflorescencia, semillas (Sharma, & Shanker, 2005). Las características óptimas de una planta para la fitorremediación son una rápida formación de mucha biomasa, raíces bien desarrolladas y extensas, y una sólida tolerancia hacia los metales pesados (Kvesitadze *et al.*, 2006).

Las técnicas de fitorremediación más conocidas y estudiadas según Alarcón (2013) son las siguientes: *Fitoextracción*, la cual consiste en la remoción y acumulación de los metales en los diferentes órganos de la planta; *fitodegradación*, la cual es la degradación de contaminantes orgánicos por actividad de la planta y sus microorganismos asociados; *rizofiltración*, la cual consiste en la absorción de metales por las raíces a partir de cuerpos de agua; *fitoestabilización*, en la que se da la inmovilización o la reducción de la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes por el sistema radical y sus microorganismos asociados; y *fitovolatilización*, en la que se propicia la volatilización del contaminante por las plantas como puente entre el suelo y la atmósfera. La contribución que pueda tener cada técnica en una estrategia de remediación depende mucho de las propiedades del suelo y de

las características del contaminante, siendo en algunos casos mucho más fácil y económico estabilizar metales pesados en el suelo que extraerlos. Ventajas y desventajas deben ser consideradas antes de elegir una técnica de fitorremediación. De hecho, la fitoextracción es una tecnología que lleva consigo muchos riesgos siendo el principal los subproductos finales. Los tallos, hojas y demás órganos cosechados, con grandes concentraciones de plomo, no pueden volver al ecosistema por lo que no pueden ser usados para la preparación tradicional de compost y mucho menos pueden ser quemados; Ashraf *et al.* (2008) menciona que finalmente los subproductos de la fitoextracción pueden ser confinados a un lugar seguro como un vertedero de residuos tóxicos o recibir tratamientos termales. Al menos cuatro parámetros son de principal importancia para el éxito de las técnicas de fitoextracción: 1. La solubilidad y disponibilidad de los metales son cruciales para la absorción por la planta; 2. la capacidad de la planta para almacenar metales pesados en sus tejidos aéreos; 3. Traslocación de metales de la raíz a los tallos y hojas; 4. Tolerancia de la planta hacia los metales pesados. (Bradl, 2005). Una de las principales razones de porque la fitoextracción no es usada de forma extensiva es el pequeño número de especies que tienen la habilidad natural de acumular y tolerar grandes cantidades de metales pesados en su tejido, según Magdi (2011) existen solo alrededor de 400 especies con estas características denominadas “hiperacumuladoras” e incluso la mayoría de estas tienen un crecimiento lento y poca producción de biomasa.

### **2.5.1. PLANTAS HIPERACUMULADORAS**

La fitoextracción hace uso de selecto grupo de especies de plantas denominadas hiperacumuladoras. Este grupo de especies que tiene aproximadamente 400 miembros en su lista (Magdi, 2011), y que es particularmente común en las Brassicaceae (Furini, 2012), poseen la habilidad inherente de acumular grandes cantidades de metales pesados en sus tejidos. Esta habilidad inherente se desarrolló a lo largo de la historia y le dio una ventaja evolutiva a las plantas que lo poseen pues les permitió colonizar ambientes hostiles a los que otras especies no podían acceder (Kramer, 2010). La fitoextracción incluye no solo la absorción de metales pesados si no su traslocación hacia tallos y hojas, inflorescencias y otras partes cosechables (Golubev, 2011).

Las plantas hiperacumuladoras usualmente son selectivas e hiperacumulan un solo metal. Las plantas hiperacumuladoras suelen tener también un crecimiento bastante lento y una poca producción de biomasa, además los metales pesados no son esenciales para la planta lo cual en la naturaleza podría ser considerado como una desventaja pero esto se compensaría con una capacidad disuasoria de animales herbívoros causado por las altas concentraciones de metales pesados en su tejido (Maestri *et al.*, 2010), algunos autores como Violante (2007) mencionan que altas concentraciones de plomo también pueden ayudar a protegerse de algunos patógenos del suelo. En las técnicas de fitoextracción se suelen usar plantas de este selecto grupo de plantas con capacidades inherentes de hiperacumulación aunque hay ocasiones en las que es mejor aprovechar plantas no hiperacumuladoras, con mejores características agronómicas, con ayudantes químicos como el EDTA u otros quelatos para favorecer la extracción de metales pesados del suelo. Los quelatos son productos de alta estabilidad capaces de mantener iones metálicos rodeados de una molécula orgánica (agente quelante) de modo que ya no estén expuestos al medio que los hubiera precipitado en formas no disponibles para la planta (Lucena, 2009). La función del EDTA al igual que otros quelatos consiste en la unión del ligando con el metal para darle estabilidad en el medio (Hawthorne, 2014). En cuanto al plomo se ha encontrado que la lista de plantas hiperacumuladoras de este metal es bastante corta, las plantas que de forma natural crecen en ambientes contaminados con plomo suelen acumular el metal en sus raíces evitando siempre una mayor traslocación hacia la parte aérea (Mackova *et al.*, 2010). Para determinar esta posible capacidad fitoextractora, Mackova menciona la utilidad del ratio de traslocación el cual se obtiene al calcular el cociente entre la concentración de plomo en las hojas y la concentración de plomo en las raíces. Esta proporción muestra si hay un movimiento libre entre las raíces y la parte aérea de la planta, o si el metal pesado es almacenado en las raíces o las hojas y tallos.



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES

##### Bioensayo:

- 100 semillas de *Salvia splendens* var. “Red Vista”
- 2 Bandejas para almácigos de 72 celdas independientes
- 4 kg de arena de río
- 4 kg de musgo
- 1 regador manual de agua
- 3 baldes de plástico de 14L de capacidad
- 36 macetas de 4kg de capacidad
- 100 kg de suelo del parque ‘Kennedy’
- 100 kg de suelo del parque ‘Campo de Marte’
- 1 bolsa de hongos micorrízicos (*Glomus intraradices*)
- 1 tamiz de 1mx1m
- Guantes de látex
- Lentes protectores de laboratorio
- Mascarillas
- Acetato de plomo

##### Digestión Nítrica:

- Ácido Nítrico
- Acido Perclórico
- Agua desionizada
- Campana extractora

- Matraces
- Estufa
- Molino eléctrico
- Papel filtro

### 3.2. DISEÑO ESTADÍSTICO

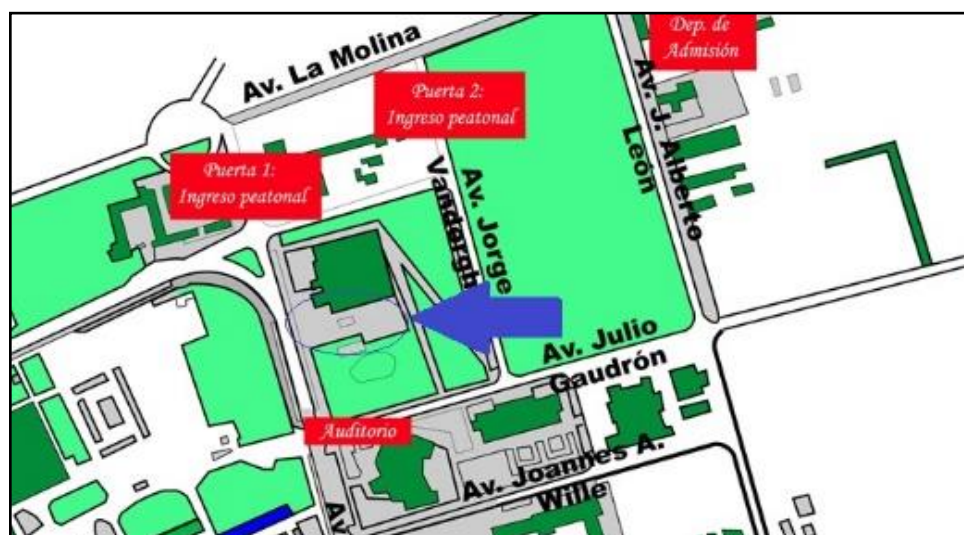
Se planteó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 3x2 y 3 repeticiones (n=3) para cada tipo de suelo dando un total de 18 unidades experimentales en suelo del parque “Campo de Marte” y 18 unidades experimentales en suelo del parque ‘Kennedy’. Inicialmente se realizaron dos pruebas: La prueba de Homogeneidad de varianzas y la prueba de Normalidad. Posteriormente se realizó la prueba de análisis de varianzas y la prueba T de Student de una muestra para comparar las concentraciones iniciales y finales de plomo en el suelo. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el programa SPSS (IBM SPSS Statistics 23<sup>®</sup>), empleando un valor p 0.05 para revelar diferencias significativas en la evaluación de bioacumulación de plomo. Se consideró que en el caso de que p-val sea mayor al (alfa) se acepta la hipótesis planteada; en otras palabras, no existen diferencias significativas.

**Tabla 3: Tratamientos**

Sustrato	Tratamientos	Calidad de Agua	Nivel de Micorrizas
Campo de Marte	<b>T1</b>	Desionizada	Ausencia de micorrizas
	<b>T2</b>	Desionizada	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)
	<b>T3</b>	Desionizada + Pb	Ausencia de micorrizas
	<b>T4</b>	Desionizada + Pb	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)
	<b>T5</b>	Huachipa + Pb	Ausencia de micorrizas
	<b>T6</b>	Huachipa + Pb	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)
Parque Kennedy	<b>T7</b>	Desionizada	Ausencia de micorrizas
	<b>T8</b>	Desionizada	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)
	<b>T9</b>	Desionizada + Pb	Ausencia de micorrizas
	<b>T10</b>	Desionizada + Pb	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)
	<b>T11</b>	Huachipa + Pb	Ausencia de micorrizas
	<b>T12</b>	Huachipa + Pb	Presencia de micorrizas (0.5 gr/kg)

### 3.3. UBICACIÓN DEL BIOENSAYO

El bioensayo fue llevado a cabo en el área experimental para tesis e investigadores del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, la cual está ubicada en Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú; con coordenadas latitud sur 12°4'24'', longitud oeste 76°56'10'', UTM 18L 0288166 8663907; altitud 244m.s.n.m.; desde el día 22 de octubre del 2016 hasta el día 20 de enero del 2017.



**Figura 2:** Mapa de localización del sitio del bioensayo.

FUENTE: UNALM (2018)

### 3.4. MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE SUELO

El suelo fue obtenido de dos parques de Lima, el parque “Campo de Marte” y el parque ‘Kennedy’ ubicados en el distrito de Jesús María y Miraflores respectivamente. Previo a la recolección de suelo para el llenado de macetas se realizaron muestreos para determinar sus niveles de plomo y los puntos de donde se podría obtener el suelo.

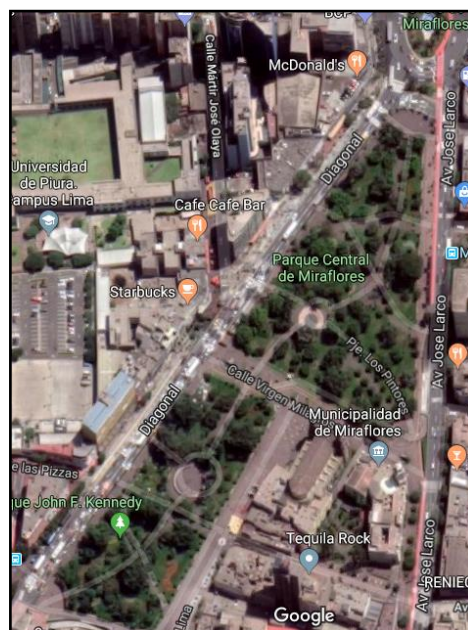
Para determinar si el suelo de un área determinada estaba contaminado o no se siguió el protocolo establecido en la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014). El parque Campo de Marte tiene un área total de 38 ha (Municipalidad de Jesús María, 2018), inicialmente se tomaron 42 muestras para el muestreo de identificación

de las cuales 38 tuvieron valores que superan los límites establecidos por el ECA de suelos, luego se tomaron 64 muestras para el muestreo de detalle. En el parque Kennedy, con 2.5 ha de áreas verdes (Municipalidad de Miraflores, 2018), se tomaron 19 muestras de identificación de las cuales solo cuatro superaron los límites establecidos por el ECA de suelos, y luego se tomaron 13 muestras para el muestreo de detalle.



**Figura 3: Mapa satelital del parque “Campo de Marte”**

FUENTE: Google Maps (2018)



**Figura 4: Mapa satelital del parque “Kennedy”**

FUENTE: Google Maps (2018)

La toma de muestras se realizó en los primeros 10cm del suelo y fueron enviadas a analizar en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

El resultado del análisis de plomo de las muestras obtenidas se encuentra en el Anexo 1.

**Tabla 4: Numero de muestras para el muestre de Identificación y el muestreo de Detalle en función al área de cada parque**

Parque	Área (ha)	Numero de muestras en el Muestreo de Identificación	Numero de muestras contaminadas	Número de muestras en el Muestreo de detalle
Campo de Marte	38	42	38	64
Kennedy	2.5	19	4	13

FUENTE: MINAM (2014)

Elaboración propia

### 3.5. INSTALACION DEL BIOENSAYO

#### 3.5.1. PREPARACIÓN DE MACETAS

Se inició tamizando el suelo conseguido para deshacerse de los terrones y demás materiales extraños. Se usaron 36 macetas de plástico de 4kg de capacidad, y antes de llenarlas se taparon los huecos del fondo con cinta masking tape para evitar una perdida excesiva de agua cuando regáramos. En los lugares donde originalmente estaban los huecos se realizaron pequeños orificios para que el agua no se estanque. Se etiquetaron apropiadamente las macetas antes de llenarlas con el suelo respectivo para evitar posibles confusiones. Se usaron guantes y mascarilla de laboratorio durante todo el proceso para evitar contacto directo con el material potencialmente contaminante. Se obtuvo una muestra representativa de cada tipo de suelo y se envió al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) a analizar los niveles de metales pesados. Los resultados se pueden observar en las Tablas 5 y 6.

**Tabla 5: Caracterización de suelos del parque “Campo de Marte” y parque “Kennedy”**

MUESTRA	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					Suma de Cationes
							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	
Parque “Kennedy” - Miraflores	7.49	0.51	1	2.67	48.5	137	75	14	11	Fr. A.	15.5	13.33	1.67	0.34	0.18	0	15.52
Parque “Campo de Marte” - Jesús María	7.3	0.7	0.3	9.47	21	236	59	20	21	Fr. Ar. A.	27	23.9	1.82	0.56	0.27	0	26.56

**Tabla 6: Análisis de Metales en el suelo del parque “Campo de Marte” y parque “Kennedy”**

Origen de la Muestra	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)
Parque “Kennedy”	16.60	45.10	23.70	4.50	1.46	24.7	71.61
Parque “Campo de Marte”	296.00	82.00	255.00	2.50	9.36	91.49	200.86

### 3.5.2. ALMACIGO E INOCULACIÓN DE MICORRIZAS

Las semillas de *Salvia splendens* se pusieron a germinar en bandejas almacigueras de 72 celdas independientes. Se colocaron solo una semilla por celda de la bandeja y se usaron dos bandejas. El porcentaje de germinación de las semillas fue de 92%. Como sustrato para la germinación se usó una mezcla de arena de río y musgo en una proporción de 1 a 4 respectivamente, este sustrato fue mezclado con el producto comercial Mycosym Triton que contiene al hongo micorrítico *Glomus intraradices*. Esta mezcla fue hecha en una proporción de 2.5 gr de micorrizas en un kilogramo de sustrato. Por cada bandeja se necesitó 4kg de sustrato así que se usó 10gr de micorrizas por bandeja. Las semillas se colocaron superficialmente sobre el sustrato previamente regado y fueron cubiertas por una capa fina del mismo sustrato para luego ser regadas con un aspersor de agua para evitar que las semillas se hundan por presión a una profundidad donde no podrían llegar a emerger. Durante todo el tiempo que estuvieron en almácigos se realizaron riegos diarios para evitar que el sustrato pierda humedad y el desarrollo de la plántula se atrofie, además solo se usó agua desionizada.

### 3.5.3. TRASPLANTE A MACETAS

Luego de 26 días, cuando todas ya poseían al menos dos hojas verdaderas, las 36 plantas con las que se trabajó inicialmente fueron trasplantadas a sus macetas respectivas. Se realizó un trasplante con champa.

### 3.6. METODOLOGIA DE RIEGO

Se rego con **agua desionizada**, con **agua desionizada contaminada con plomo**, y con **agua de riego de Huachipa mas plomo**. Se usó como contaminante del agua de riego al acetato de plomo, con formula química  $Pb(CH_3COO)_2$ . El acetato de plomo, también conocido como ‘Sal de Saturno’, es extremadamente venenoso y comercialmente se usa siempre en su forma tri-hidratada (Almazán *et al.*, 2006). Se usó acetato de plomo del laboratorio de fertilidad de suelos como fuente contaminante del agua.

El Ministerio del Ambiente en su decreto supremo N° 004-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017) establece que el límite de plomo permitido en el agua usada para riego no restringido, en donde se incluye el riego a los parques, es de 0.05 ppm. En esta investigación se estableció que para los tratamientos con agua de riego contaminado se elevarían los niveles de plomo en el agua hasta 0.1ppm de plomo y luego se calculó cuanto acetato de plomo sería necesario para los 14 litros de capacidad de los recipientes en donde se almacenaría las reservas de agua para regar durante cada semana. Se usaron tres recipientes. En el recipiente N°1 se colocó solo agua desionizada; en el recipiente N°2 se colocó el agua desionizada contaminada con plomo; en el recipiente N°3 se colocó el agua de riego de Huachipa contaminada con plomo. En el recipiente N°2 se colocaron 14 litros de agua desionizada y se agregó 0.0025 g de Acetato de Plomo; mientras que para el recipiente N°3 se colocaron 14 litros de agua de riego de Huachipa y se agregó solo 0.0016g de Acetato de Plomo ya que el agua de riego proveniente de Huachipa tenía ya 0.0035ppm de plomo. El análisis químico del agua de riego de Huachipa usada en el bioensayo está presente en su totalidad en el Anexo 22. El acetato de plomo se pesó en las balanzas de precisión del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

El riego fue realizado manualmente, ayudado con un regador pequeño, usando el agua con los tratamientos respectivos. La cantidad con la que se regó fue aumentando paulatinamente, conforme la planta crecía y dependiendo de las pérdidas por evapotranspiración, y se calculó de forma que el suelo estuviera constantemente en capacidad de campo. Para saber esto, primero se pesó el suelo del Campo de Marte y del parque Kennedy en cantidades de 100gr por separado, luego se colocaron en embudos, se les saturó con agua y se les dejó filtrando por 24 horas para asegurarse que estuviera en capacidad de campo y se procedió a tomar medidas del peso. Con este valor se realizó una relación de tres simples para hallar el valor adecuado que debían tener el suelo de las macetas al estar en capacidad de campo. Así, una maceta con suelo del Campo de Marte, que inicialmente pesaba 2 kg en su máxima capacidad, debía pesar 3.1 kg estando en capacidad de campo; y una maceta con suelo del parque Kennedy, que inicialmente pesaba 2.7 kg en su máxima capacidad, debía pesar 3.7 kg estando en capacidad de campo. Los días de riego fueron los lunes, miércoles y viernes. Las mediciones de longitud de tallo y longitud de inflorescencia se realizaron los días lunes, miércoles y viernes antes de regar. Cada maceta de los tratamientos en suelo del parque “Campo de Marte” fue regada con un total de 5.62 L de agua a lo largo del bioensayo; y cada



maceta de los tratamientos en suelo del parque “Kennedy” fue regada con un total de 6.59 L de agua a lo largo del bioensayo. La concentración de plomo en el agua de los tratamientos que lo requirieron fue nivelada a 0.1 ppm de plomo entonces cada maceta con suelo del parque “Campo de Marte” recibió en total 0.6 mg de plomo y cada maceta con suelo del parque “Kennedy” recibió en total 0.7 mg de plomo a través del riego.

### **3.7. VARIABLES Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Se evaluaron la **longitud de tallo y longitud de inflorescencia** pues uno de los principales síntomas de toxicidad ante la exposición al plomo suele ser la disminución del crecimiento. Se evaluó además la **concentración de plomo final en el tejido vegetal** de la planta, diferenciando la parte radicular de la parte aérea pues no solo nos interesaba saber si la planta absorbió plomo sino si es que lo llegó a traslocar al resto de la planta.

La especie *Salvia splendens* forma una inflorescencia principal y luego inflorescencias laterales. Para la longitud de inflorescencia se midió la longitud de la inflorescencia principal.

La longitud del tallo se midió desde su base hasta el ápice en donde se forma la inflorescencia principal. La concentración final de plomo en los tejidos vegetales se determinó con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica luego de una preparación previa a través de la digestión nítrica.

### **3.8. METODOLOGÍA DE COSECHA**

Se recogieron las flores senescentes de las inflorescencias de la planta de Salvia y se guardaron para poder analizarlas junto con el resto del material aéreo de la planta. La senescencia de las flores de la primera inflorescencia inicio dos meses antes de la cosecha, y la senescencia de las flores de las inflorescencias laterales comenzó un mes antes de la cosecha.



**Figura 5: Cosecha de una planta de *Salvia splendens***

El corte del tallo se realizó un centímetro sobre el nivel del suelo. Las partes cosechadas se lavaron primero con agua potable y luego con agua desionizada para eliminar la tierra sobre su superficie. Se colocaron en bolsas de papel correctamente etiquetadas para poder identificar cada tratamiento y entonces se llevaron a la estufa del laboratorio de fertilidad de suelos por un tiempo de 48 horas.

Para poder cosechar las raíces se tuvo que regar un día antes de la cosecha, de forma que se pudieran extraer las raíces con un mínimo de daño. Las raíces se lavaron primero con agua potable para eliminar la tierra y luego con agua desionizada. Se colocaron en bolsas de papel correctamente etiquetadas para poder identificar cada tratamiento y entonces se llevaron a la estufa del laboratorio de fertilidad de suelos por un tiempo de 48 horas.

### **3.9. DIGESTIÓN ACIDA**

El material vegetal, tanto la parte radicular como la parte aérea, estuvo en la estufa del Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la UNALM a una temperatura de 78 °C por 48 horas. Luego este material seco a estufa fue pasado por un pequeño molino para disminuir su tamaño lo máximo posible y así aumentar su área superficial.

Se pesó un gramo de cada unidad experimental y se colocó en matraces correctamente lavados y desinfectados. En los matraces se hecho 10ml de una mezcla de ácido nítrico y

ácido perclórico en una concentración de 2 a 1 y se colocó en la estufa hasta que el ácido se haya consumido. Se agregó 2 ml a los matraces en estufa cuando fue necesario, por ejemplo cuando el material se comenzó a quemar porque ácido se consumió por completo y no se llegaron a sacar los matraces. En promedio el tiempo que un matraz tarda en secarse fue de 8 horas, con una disponibilidad máxima de espacio en la estufa para 36 matraces al mismo tiempo el proceso general duro un total de 5 días, considerando que algunos demoraron mucho más que el promedio.

Luego de pasar por la estufa, a los matraces se les hecho agua caliente para diluir la materia seca que quedo cuando el ácido se evaporo totalmente. La cantidad de agua usada fue de 10ml. Posteriormente el contenido de estos matraces tuvo que ser filtrado y enrasado a 25 ml antes de pasar a su contenedor final. Llegando a este punto ya solo hacía falta llevar los frascos con el material preparado al Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo de la Universidad Nacional Agraria la Molina para su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PARQUE “CAMPO DE MARTE”

#### 4.1.1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO RADICULAR

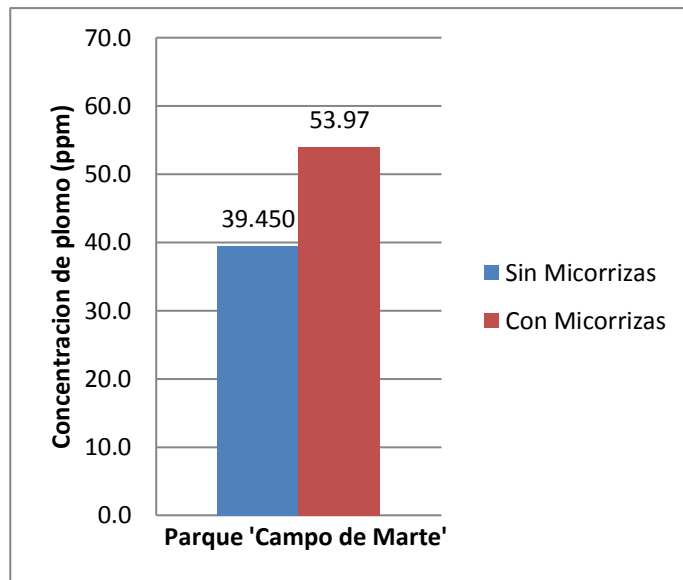
**Tabla 7: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido radicular de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Campo de Marte	Sin micorrizas	29.59	55.34	33.30	<b>39.41</b>
	Con micorrizas	66.33	53.41	42.17	<b>53.97</b>
	<b>Promedio</b>	<b>47.96</b>	<b>54.37</b>	<b>37.73</b>	<b>46.69</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	**
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo

NS : No significativo



**Figura 6: Cantidad de plomo (ppm) acumulado en los tejidos de las raíces de las plantas que crecen en el suelo del parque Campo de Marte**

En un suelo contaminado con plomo (200.86 ppm) las raíces de la especie *Salvia splendens* var. “Red Vista” acumularon más plomo en sus tejidos cuando estuvieron asociados al hongo micorrítico *Glomus intraradices*. La presencia de micorrizas le permite a la planta explorar más espacio en el suelo por lo que tiene una mayor probabilidad de absorber no solo nutrientes si no también contaminantes como el plomo y otros metales pesados.

Con presencia o ausencia de micorrizas los síntomas de toxicidad de plomo se presentaron en todas las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”.



**Figura 7: Tratamientos sin micorrizas en suelo del parque “Campo de Marte” un día antes de la cosecha**



**Figura 8: Tratamientos con micorriza en suelo del parque “Campo de Marte” un día antes de la cosecha**

#### 4.1.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE TALLOS Y HOJAS

**Tabla 8:** Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de tallos y hojas de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Campo de Marte	Sin Micorrizas	11.86	10.71	12.49	<b>11.69</b>
	Con Micorrizas	10.36	10.17	9.5	<b>10.01</b>
	<b>Promedio</b>	<b>11.11</b>	<b>10.44</b>	<b>10.997</b>	<b>10.85</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo

Ningún factor influyo de forma significativa en la concentración de plomo en el tejido de tallos y hojas. El plomo absorbido por las raíces no fue traslocado.

#### 4.1.3. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE LAS INFLORESCENCIAS

**Tabla 9:** Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de las inflorescencias de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Campo de Marte	Sin Micorrizas	16.12	14.80	13.07	<b>14.66</b>
	Con Micorrizas	13.14	13.03	9.06	<b>11.75</b>
	<b>Promedio</b>	<b>14.63</b>	<b>13.91</b>	<b>11.07</b>	<b>13.20</b>

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Sig. Est.</b>
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS
(**) : Significativo	
NS : No significativo	

Ningún factor influyó de forma significativa en la concentración final de plomo en el tejido de las inflorescencias. El plomo absorbido por las raíces no llegó a traslocarse a los tejidos aéreos.

#### 4.1.4. LONGITUD DE TALLO (cm)

**Tabla 10: Promedio de la longitud de tallos (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”**

		<b>Calidad de agua</b>			<b>Promedio</b>
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
	Sin Micorrizas	10.77	9.5	11.23	<b>10.5</b>
Campo de Marte	Con Micorrizas	9.77	8.83	10.4	<b>9.67</b>
	<b>Promedio</b>	<b>10.27</b>	<b>9.165</b>	<b>10.815</b>	<b>10.08</b>

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Sig. Est.</b>
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS
(**) : Significativo	
NS : No significativo	

Ninguno de los dos factores influyó en la longitud final del tallo (cm). Debido a las altas concentraciones de plomo en el suelo (200.86 ppm) el hongo micorrítico *Glomus intraradices* así como el resto de microorganismos del suelo estuvieron bajo un fuerte estrés por toxicidad que no le permitió a la micorriza estimular el crecimiento de la planta a través de una mayor absorción de nutrientes (Souza, 2015).



#### 4.1.5. LONGITUD DE INFLORESCENCIA (cm)

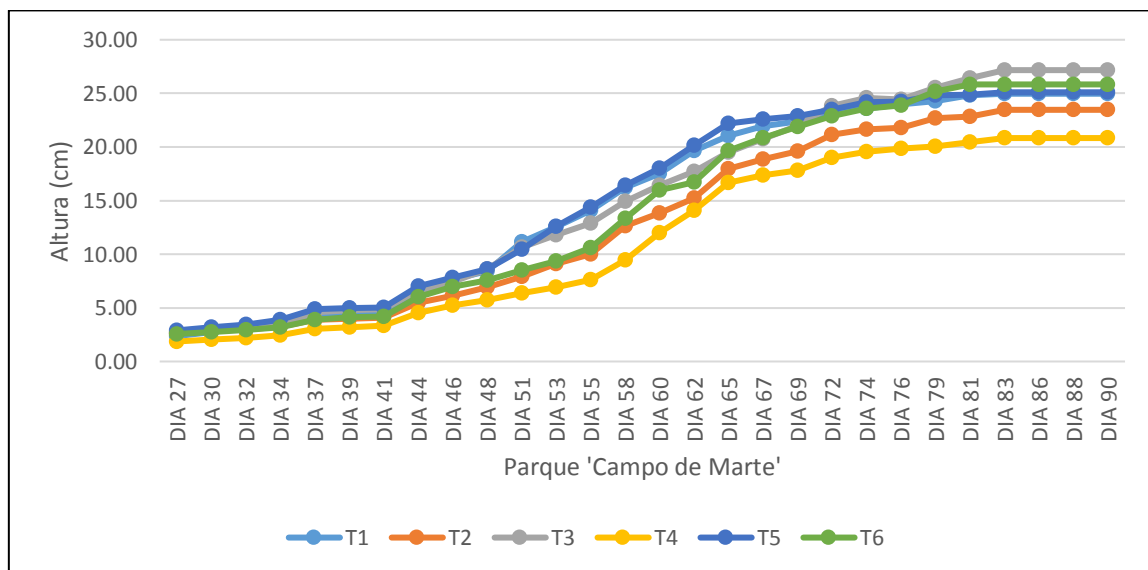
**Tabla 11: Promedio de la longitud de inflorescencias (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Campo de Marte”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Campo de Marte	Sin Micorrizas	14.20	17.67	13.87	<b>15.24</b>
	Con Micorrizas	13.70	12.00	15.43	<b>13.71</b>
	<b>Promedio</b>	<b>13.95</b>	<b>14.83</b>	<b>14.65</b>	<b>14.48</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo

Ninguno de los dos factores influyo de forma significativa en la longitud de la inflorescencia (cm). Las micorrizas no pudieron estimular el crecimiento de la planta, en el suelo había concentraciones muy altas de plomo (200.86 ppm) que ejercieron un fuerte estrés sobre los microorganismos del suelo incluyendo a la micorriza 0.



**Figura 9: Curva de crecimiento de las plantas en suelo del parque “Campo de Marte”**

En promedio en el suelo del parque “Campo de Marte” el crecimiento no se vio reducido en ningún tratamiento pero si se llegaron a ver otros efectos sobre la calidad ornamental de la planta que se asocian con la toxicidad por altas concentraciones de plomo en el suelo (Nowak, 2007) como la disminución del volumen de la inflorescencia, la poca ramificación del tallo principal y la poca formación de inflorescencias secundarias.

## 4.2. PARQUE “KENNEDY”

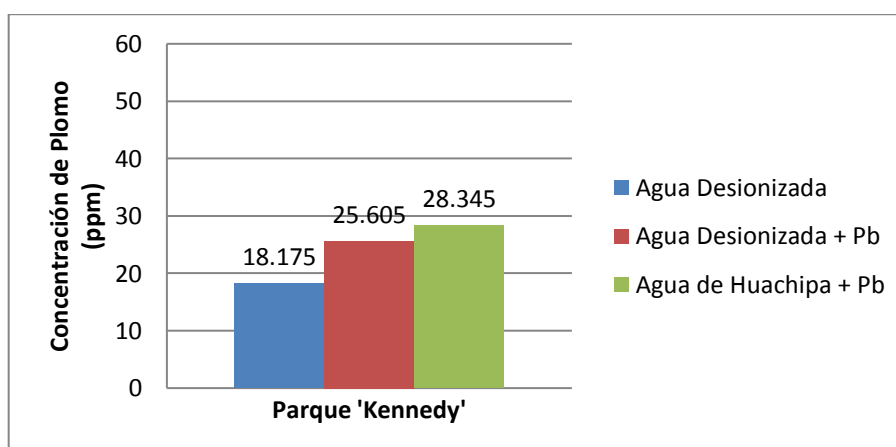
### 4.2.1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO RADICULAR

**Tabla 12: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido radicular de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	18.53	26.02	21.76	<b>22.10</b>
	Con Micorrizas	17.823	25.185	34.925	<b>25.98</b>
	<b>Promedio</b>	<b>18.18</b>	<b>25.60</b>	<b>28.34</b>	<b>24.04</b>

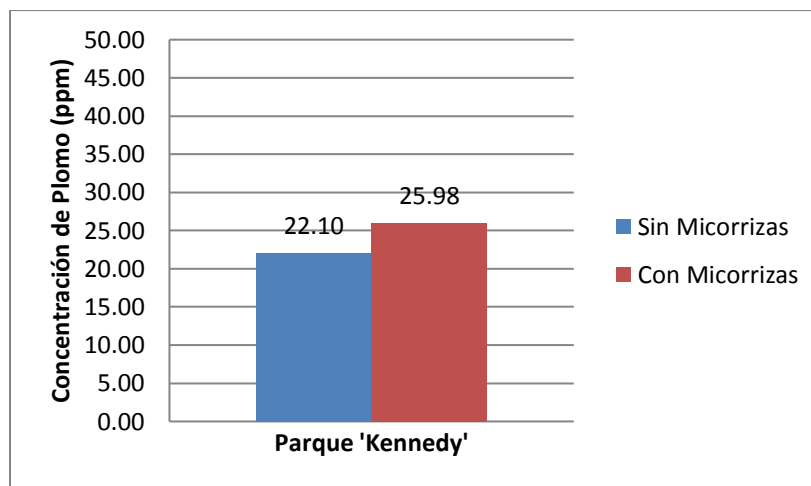
Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	**
Micorriza	**
Agua x Micorriza	**

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo



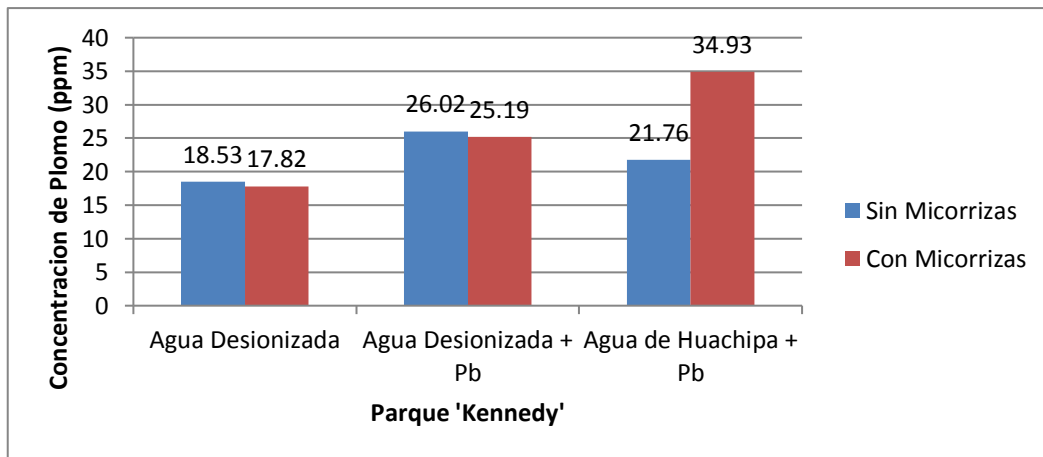
**Figura 10: Concentración de plomo (ppm) en las raíces bajo la influencia de distintas calidades de agua en suelo del parque Kennedy**

Las raíces acumularon más plomo en su tejido cuando crecieron en un suelo regado con aguas contaminadas con plomo. El plomo agregado a través del riego fue rápidamente absorbido por las raíces, en parte gracias a la poca cantidad de materia orgánica en el suelo del parque Kennedy que de otra forma hubiera competido con la planta por los iones  $Pb^{+2}$  pero principalmente gracias a que el acetato de plomo, que se usó como contaminante, cuando es diluido en agua libera rápidamente los iones  $Pb^{+2}$  de su composición a la solución suelo.



**Figura 11: Concentración de plomo en el tejido de las raíces bajo la influencia de dos niveles de micorrizas en suelo del parque Kennedy**

En un suelo con bajos niveles de plomo (71.61 ppm) las raíces de la especie *Salvia splendens* var. "Red Vista" acumularon más plomo en sus tejidos cuando estuvieron asociados al hongo micorrítico *Glomus intraradices*. La presencia de micorrizas le permite a la planta explorar más espacio en el suelo por lo que tiene una mayor probabilidad de absorber no solo nutrientes si no también contaminantes como el plomo y otros metales pesados.



**Figura 12: Concentración de plomo (ppm) el tejido de las raíces con diferentes calidades de agua y dos niveles de micorriza**

Las plantas asociadas con hongo micorrícicos absorbieron una mayor cantidad de plomo cuando fueron regadas con un agua de riego de Huachipa contaminada con acetato de plomo (calidad de agua N°3) a pesar de que esta calidad de agua tuvo la misma concentración de plomo que la calidad de agua N°2 (agua desionizada contaminada con acetato de plomo).

Ambas calidades de agua tuvieron una concentración de 0.1ppm de plomo pero los análisis de agua solo nos mostraron los niveles totales de plomo. Davidson (2008) menciona que la forma o especie en que se presenta un metal pesado en el suelo es uno de los factores más importantes en la biodisponibilidad de dicho metal. No se conoce a detalle las especies químicas de plomo presentes en el agua por lo que es probable que en el agua de riego de Huachipa (calidad N°3) hayan estado presentes, además del acetato de plomo, especies de plomo menos disponibles para la planta que fueron rápidamente retenidos por la materia orgánica. La actividad de las micorrizas seguramente favoreció a la absorción de estas formas menos disponibles.

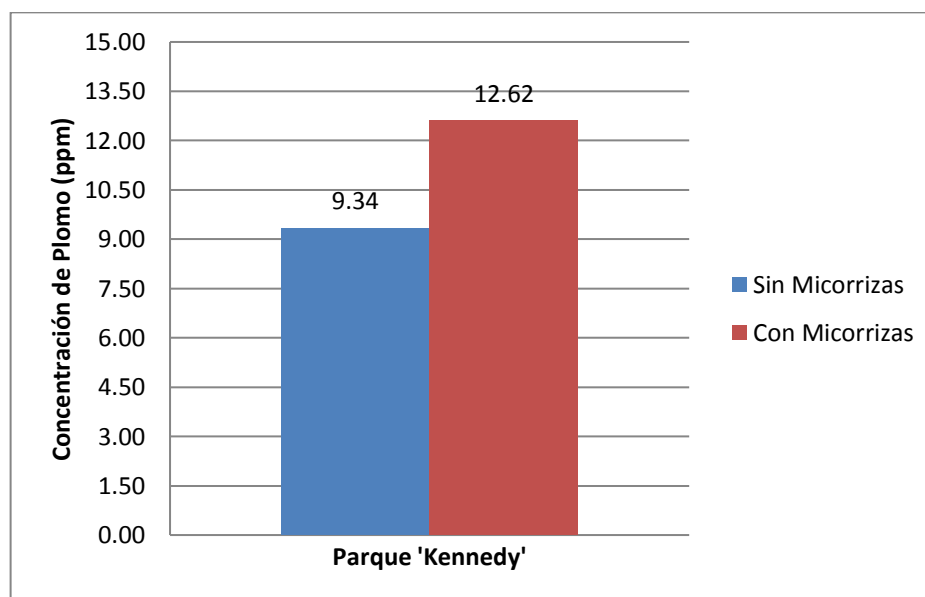
#### 4.2.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE TALLOS Y HOJAS

**Tabla 13: Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de tallos y hojas de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	7.44	10.75	9.82	<b>9.34</b>
	Con Micorrizas	11.02	15.4	14.35	<b>13.59</b>
	<b>Promedio</b>	<b>9.23</b>	<b>13.08</b>	<b>12.08</b>	<b>11.46</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	**
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo



**Figura 13: Concentración de plomo (ppm) en el tejido de las raíces bajo la influencia de dos niveles de micorrizas en un suelo del parque Kennedy (suelo no contaminado)**

En bajos niveles de plomo en el suelo (71.61 ppm), la concentración de plomo en tallos y hojas de las plantas asociadas con el hongo micorrítico *Glomus intraradices* es mayor que

en aquellas sin micorrizas. Esto nos indica que el hongo micorrítico está estimulando tanto la absorción como la traslocación de plomo hacia tallos y hojas a pesar de que este no sea un elemento esencial para la planta. El estrés de toxicidad por plomo es visualmente obvios en aquellos tratamientos con micorrizas. Probablemente en aquellos tratamientos con micorrizas se liberaron exudados que estimularon la solubilidad del plomo en el suelo incrementando así la disponibilidad de  $Pb^{+2}$  en la micorrizósfera lo que termino generando problemas de toxicidad para la planta.

#### 4.2.3. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL TEJIDO DE LAS INFLORESCENCIAS

**Tabla 14:** *Promedio de las concentraciones de plomo (ppm) en el tejido de inflorescencias de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy”*

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	10.52	10.02	10.34	<b>10.29</b>
	Con Micorrizas	9.36	11.91	12.54	<b>11.27</b>
	<b>Promedio</b>	<b>9.94</b>	<b>10.97</b>	<b>11.44</b>	<b>10.78</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS
(**) : Significativo	
NS : No significativo	

Ninguno de los dos factores influyó de forma significativa en la traslocación del plomo hacia la parte aérea. El plomo es un elemento muy poco móvil en las plantas (Bradl, 2005; Davidson, 2008), esto lo podemos confirmar con los resultados presentados en las Tablas 12 y 13 en donde se observa que aun con la presencia de las micorrizas solo se estimula muy ligeramente la traslocación de plomo a tallos y hojas pero no sucede lo mismo en el tejido de las inflorescencias.

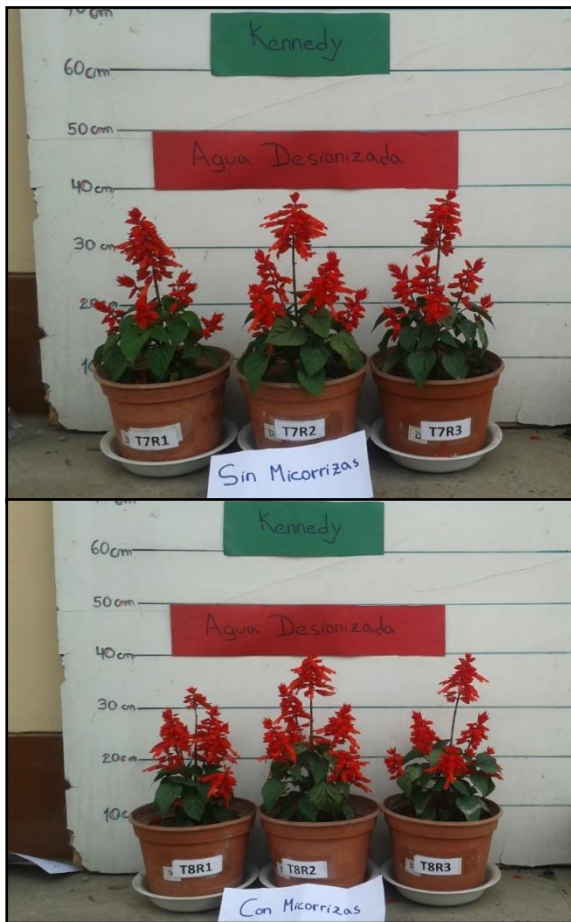


Figura 14: Tratamientos en suelo del parque Kennedy un día antes de la cosecha

#### 4.2.4. LONGITUD DE TALLO (cm)

**Tabla 15: Promedio de la longitud de tallos (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	10.33	10.53	11.47	<b>10.78</b>
	Con Micorrizas	11.03	9	7.6	<b>9.21</b>
	<b>Promedio</b>	<b>10.68</b>	<b>9.77</b>	<b>9.54</b>	<b>9.99</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo

Ninguno de los dos factores influyo de forma significativa a la altura del tallo. Aparentemente en la especie *Salvia splendens* var. “Red Vista” los efectos de toxicidad por plomo se muestran principalmente como una disminución en el desarrollo y crecimiento de las inflorescencias lo cual coincide con los resultados obtenidos por Nowak (2007) en la especie *Salvia splendens* var. “Sello Torreador”.

#### 4.2.5. LONGITUD DE INFLORESCENCIA (cm)

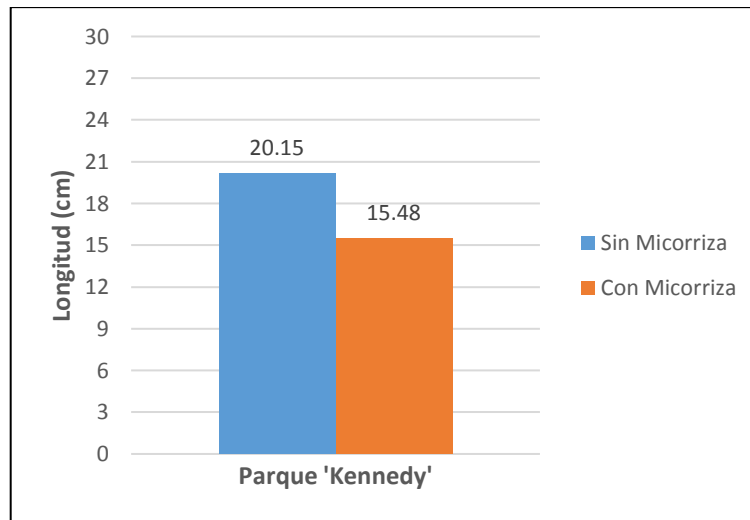
**Tabla 16: Promedio de la longitud de inflorescencia (cm) de las plantas que crecieron en suelo del parque “Kennedy”**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	22.47	19.07	18.90	<b>20.14</b>
	Con Micorrizas	19.07	16.37	11.00	<b>15.48</b>
	<b>Promedio</b>	<b>20.77</b>	<b>17.72</b>	<b>14.95</b>	<b>17.81</b>



Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	**
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo



**Figura 15: Longitud de inflorescencias influenciadas por dos niveles de micorriza en el suelo**

Las micorrizas fueron el factor principal que influyó en el crecimiento de las inflorescencias. La presencia de micorrizas favoreció la absorción de plomo a las raíces y un ligero aumento en la traslocación hacia tallos y hojas. El plomo traslocado a tallos y hojas interfiere con la fotosíntesis y disminuye el crecimiento de la planta (Nowak, 2007), además el plomo retenido en las raíces de la planta interfiere con la traslocación de valiosos nutrientes hacia la parte aérea, lo cual podemos confirmar en la Figura 13 en donde se observa que los tratamientos que se regaron con agua contaminada con plomo y que tuvieron presencia de micorrizas (T10, T12) son los que tuvieron la menor altura en promedio. En estos dos tratamientos se expresaron síntomas de toxicidad de plomo similares a los observados en plantas que crecieron en un suelo obtenido del parque ‘‘Campo de Marte’’ y similar a lo mencionado por Nowak (2007), por lo que entendemos que al menos bajo condiciones similares a las de este bioensayo los efectos de las micorrizas sobre el desarrollo de la planta es negativo.

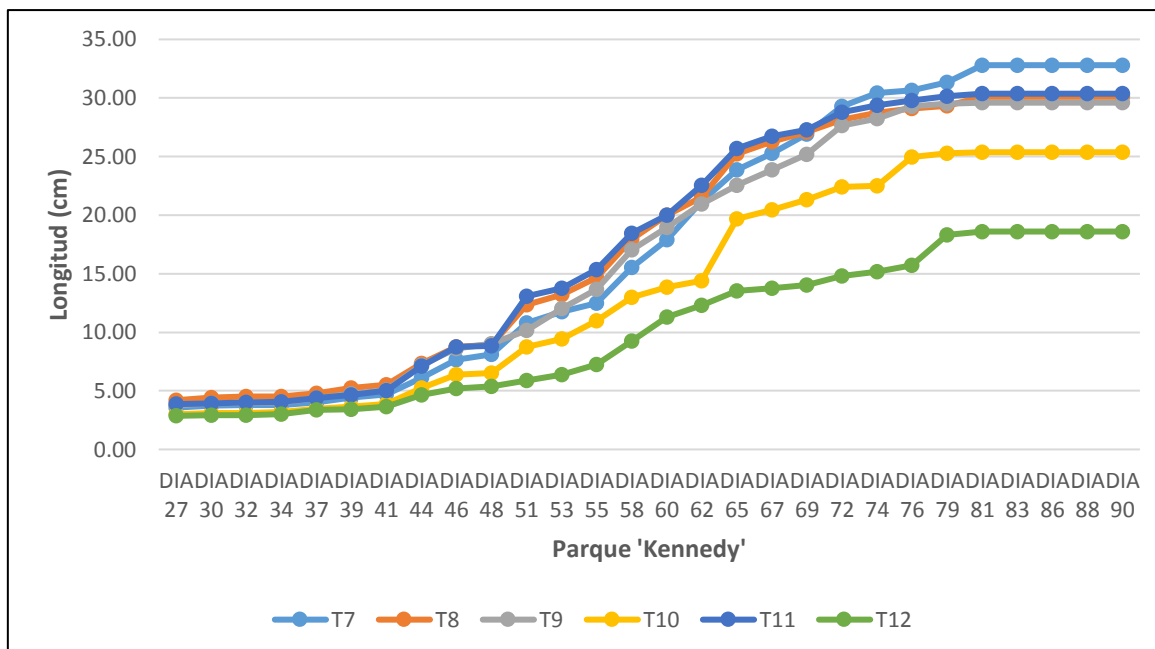


Figura 16: Curva de crecimiento de las plantas en suelo del parque “Kennedy”

#### 4.3. CONCENTRACION DE PLOMO (ppm) EN EL SUELO DEL PARQUE “CAMPO DE MARTE” AL FINAL DEL BIOENSAYO

Tabla 17: Promedio de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Campo de Marte” al final del bioensayo

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	218.02	220.4	242.76	<b>227.06</b>
	Con Micorrizas	210.04	244.96	246.58	<b>233.86</b>
	<b>Promedio</b>	<b>214.03</b>	<b>232.68</b>	<b>244.67</b>	<b>230.46</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo

NS : No significativo

El suelo del parque “Campo de Marte”, con una concentración inicial de plomo de 200.86 ppm, termino con una concentración promedio de 230.4 ppm de plomo. Este incremento se

explica con el uso de aguas de riego contaminadas con plomo pues solo los tratamientos con agua desionizada mantuvieron los niveles iniciales de plomo en el suelo. Para comparar los valores iniciales y los valores finales se realizó la prueba T de Student para una muestra. Los resultados en la Tabla 18 nos muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la concentración inicial de plomo (ppm) y la concentración final de plomo (ppm). Sabemos que las plantas no han traslocado grandes cantidades de plomo de las raíces a los tallos y hojas. Esto nos indica que el plomo agregado a través del riego fue retenido en el suelo y no en el tejido de las plantas. La materia orgánica (M.O.) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) influyeron fuertemente en la disponibilidad del plomo hacia la planta. En la tabla N°4 podemos observar que el suelo del parque ‘Campo de Marte’ presento un porcentaje muy alto de materia orgánica (9.47%) y una capacidad de intercambio catiónico de 26.56 cmol+/kg. Según Alloway & Steinnes (2011) la materia húmica puede fijar fuertemente a los metales pesados especialmente al plomo, retirándolos de la fracción disponible para la planta; esto concuerda con lo mencionado por García & Moreno (2008) quienes indica que el plomo forma complejos muy estables con la materia orgánica y es el metal con mayor afinidad para acomplejarse, otros autores (Bradl. 2005; Davidson, 2008) también mencionan el siguiente orden de afinidad de los metales pesados hacia la materia orgánica:  $Pb > Ni > Co > Mn > Zn$ .

El pH es otro factor que influyó mucho en la disponibilidad del plomo. Bradl (2005) menciona que a pH mayores a 4 el plomo tiende a ser fuertemente retenido por la materia húmica, Alloway & Steinnes (2011) mencionan que a pH mayores a 5.5 el plomo es prácticamente inmóvil en el suelo. Esto concuerda con el comportamiento del plomo en el suelo del parque “Campo de Marte” (pH=7.30), en donde observamos que la concentración de plomo en el suelo incremento al final del bioensayo y que las plantas no llegaron a absorber en las raíces o traslocar el metal a la parte aérea.

La cantidad de plomo extraído por cada unidad experimental puede observarse a detalle en el Anexo 19.

#### 4.4. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL SUELO DEL PARQUE “KENNEDY” AL FINAL DEL BIOENSAYO

**Tabla 18: Promedio de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Kennedy” al final del bioensayo**

		Calidad de agua			Promedio
		Desionizada	Desionizada+Pb	Huachipa+Pb	
Parque Kennedy	Sin Micorrizas	62.86	69.35	75.19	<b>69.13</b>
	Con Micorrizas	64.57	71.66	69.16	<b>68.46</b>
	<b>Promedio</b>	<b>63.72</b>	<b>70.55</b>	<b>72.18</b>	<b>68.795</b>

Fuente de Variabilidad	Sig. Est.
Agua	NS
Micorriza	NS
Agua x Micorriza	NS

(\*\*) : Significativo  
NS : No significativo

La concentración promedio final de plomo en el suelo fue de 68.795 ppm, mientras que la concentración inicial de plomo en el suelo fue de 71.61 ppm. Para comparar los valores iniciales y finales de la concentración de plomo en el suelo se realizó la prueba T de Student para una muestra. Los resultados en la Tabla 19 nos muestran que no existe diferencia estadísticamente significativa entre la concentración inicial de plomo (ppm) y la concentración final de plomo (ppm). En promedio la concentración de plomo en el suelo solo disminuyó 3.14% al final del bioensayo. Esta ligera disminución en la concentración de plomo en el suelo se explica con la actividad extractiva de la planta. La planta acumuló 24.04 ppm de plomo en el tejido de sus raíces y 10.78 ppm en tallos y hojas pero produce muy poca biomasa, el peso seco promedio de las plantas que crecen en este suelo es de 2.291 gr. Todo esto nos indica que el plomo no está siendo retenido en el suelo, y el factor de traslocación y el de bioacumulación nos indican que tampoco está siendo acumulado en el tejido de las plantas. La M.O., la CIC y el pH influyeron fuertemente en la movilidad del plomo en el suelo. En la Tabla 4 podemos observar que el suelo del parque “Kennedy” tiene un porcentaje muy bajo de M.O. (2.6%) y una CIC de 15.5. En este suelo hay una menor cantidad de sitios de adsorción por lo que el plomo agregado con el agua de riego era fácilmente desplazado por otros iones y permanecía muy poco en la solución suelo de donde

era lavado con el agua de riego. El pH del suelo fue de 7.49, a ese nivel las formas predominantes del plomo son las más estables por lo que la planta tuvo muy poca probabilidad de absorber ese plomo.

La cantidad de plomo extraído por cada unidad experimental se puede observar a detalle en el Anexo 19.

**Tabla 19: Prueba T de Student de una muestra para comparar los valores iniciales y finales de la concentración de plomo (ppm) en el suelo del parque “Campo de Marte”**

Prueba de muestra única						
	Valor de prueba = 200.86					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Plomo Final	8,964	17	,000	34,60611	26,4611	42,7511

**Tabla 20: Pruebas T de Studen de una muestra para comparar valores iniciales y finales de la concentración de plomo (ppm) en suelo del parque “Kennedy”**

Prueba de muestra única						
	Valor de prueba = 71.6					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Plomo Final	-2,073	17	,054	-2,80222	-5,6540	,0496

#### 4.5. FACTOR DE TRASLOCACIÓN

El factor de traslocación se calcula con el cociente entre la concentración total de plomo en los tejidos de la parte aérea y la concentración total de plomo en las raíces. Este factor usualmente se usa para determinar si una planta es hiperacumuladora. El factor de traslocación debe ser mayor a uno para que la planta sea considerada como hiperacumuladora.

#### TRASLOCACIÓN DE LAS RAÍCES A TALLOS Y HOJAS

- En el parque Campo de Marte

Concentración de plomo en las raíces	:	46.69 ppm
Concentración de plomo en la parte aérea	:	12.03 ppm
Factor de traslocación	:	0.26
- En el parque Kennedy

Concentración de plomo en las raíces	:	24.04 ppm
Concentración de plomo en los tallos y hojas	:	11.02 ppm
Factor de traslocación	:	0.46

En ningún caso se superó el valor necesario para que pueda ser considerado como planta hiperacumuladora, aun así vale la pena mencionar que en un suelo no contaminado como lo es el obtenido del parque Kennedy el factor de traslocación de la especie *Salvia splendens* es casi el doble que el obtenido del parque Campo de Marte, indicando que la traslocación de plomo hacia los tallos y hojas es mucho menor cuando la planta crece en un suelo contaminado.

#### 4.6. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN

Se obtiene con el cociente entre los valores de la concentración total de plomo en las raíces y la concentración total de plomo en el suelo. Es un buen indicador de la capacidad de acumulación de la planta. El factor debe ser mayor a uno para que la planta sea considerada acumuladora.

- En el parque Campo de Marte
 

Concentración de plomo en las raíces	:	46.69 ppm
Concentración de plomo en el suelo	:	200.86 ppm
Factor de bioacumulación	:	0.23
  
- En el parque Kennedy
 

Concentración de plomo en las raíces	:	24.04 ppm
Concentración de plomo en el suelo	:	71.61 ppm
Factor de bioacumulación	:	0.34

El factor de bioacumulación nunca supero el mínimo requerido para que la planta sea considerada como acumuladora. Aquí es importante resaltar que el factor de bioacumulación en el suelo contaminado es menor que en el suelo no contaminado, lo que refuerza la idea de la existencia de mecanismos de resistencia en la especie *Salvia splendens* que se activan en un suelo con altos niveles de plomo.



## V. CONCLUSIONES

- Los factores de translocación y bioconcentración no superan el valor de 1, entonces podemos afirmar que la especie *Salvia splendens* var. “Red Vista” no extrajo grandes cantidades de plomo del suelo.
- La inoculación del hongo micorrítico *Glomus intraradices* ayuda ligeramente a la extracción de plomo del suelo por la planta y su traslocación a tallos y hojas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Durante la manipulación de material contaminado con plomo es recomendable siempre usar equipos de protección para evitar cualquier tipo de contacto que pueda generar algún tipo de intoxicación. Hay que tener especial cuidado cuando se manipula el suelo para llenar las macetas y también durante la realización de muestreos.
- En el bioensayo se inoculo el hongo micorrítico al almacigo de las plantas. Se recomienda usar bandejas para almácigos con celdas independientes de gran tamaño para que cada planta pueda ser trasplantada con una mayor cantidad de micorrizas.
- Es necesario planificar la correcta disposición de los subproductos de la fitorremediación, buscando siempre evitar que el plomo vuelva a ingresar al ecosistema. Esta parte cobra aún más importancia cuando la tecnología es implementada a escalas más grandes como por ejemplo a nivel municipal.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, A. (2013). *Biorremediación de suelos y aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos*. México: Trillas.
- Alfaro, P. (2004). *Evaluación de los factores edáficos que determinan la bioacumulación de plomo (Pb) en rye grass anual (Lolium multiflorum) y rye grass perenne (Lolium perenne L.)*. (Testis de Maestria). Lima, Perú, UNALM.
- Alloway, B. & Steinhilber, E. (2011). *Biomanagement of Metal-Contaminated Soils*. New York, USA: SPRINGER.
- Almazán S.; Garcia, P. & Hernandez, E. (2006). *Manual para el Manejo ambientalmente responsable del Plomo*. Cámara Minera de Mexico.
- Ashraf, M.; Ozturk, M. & Ahmad, M. (2010). *Plant adaptation and phytoremediation*. Arabia Saudita: Springer.
- Bacon, F. (2008). *Plomo y sus aleaciones*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Católica Argentina.
- Bradl, H. (2005). *Heavy metals in the environment*. Neubrucke, Germany: Elsevier.
- Davidson, C.M. (2008). *Chemical speciation in the environment*. Glasgow, Escocia: Blackwell Science.
- Delgadillo-López, A.; González-Ramírez, C.; Prieto-García, F.; Villagómez-Ibarra, J.; & Acevedo-Sandoval, O. (2011). *Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación*. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Ferrera-Cerrato, R. (2000). *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Montecillo, Estado de México: MundiPrensa México S.A.
- Furini, A. (2012). *Plants and Heavy Metals*. Verona, Italia: Springer.
- Galán, E. (2000). The role of clay minerals in removing and immobilising heavy metals from contaminated soils. In “Proceedings of the 1st Latin American Clay Conference”, vol. 1, C. Gomes, ed. Funchal, 351-361.
- García, C. & Moreno J. (2008). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 20, pp. 125-137.
- Golubev, I. (2011). *Handbook of Phytoremediation*. New York, USA: Nova Science Publisher, Inc.
- Google maps. (2018). Mapa del parque Kennedy. (en línea). Disponible en <https://www.google.com.pe/maps/place/Parque+Kennedy,+Miraflores/@-12.1217409,-77.0310131,190m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9105c819733707fb:0x1e5a74acd2420786!8m2!3d-12.1219256!4d-77.0306557?hl=es-419>
- Google maps. (2018). Mapa de parque Campo de Marte. (en línea). Disponible en <https://www.google.com.pe/maps/place/El+Campo+de+Marte/@-12.0684554,-77.042758,385m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9105c8e921adc161:0x91a518942d5e9270!8m2!3d-12.0683312!4d-77.041385?hl=es-419>
- Hawthorne, N. (2014). *Micronutrientes quelados y complejados*. Marzo 06, 2016, de Asociación Española de Fabricación de Agronutrientes Sitio web: <http://aeфа-agronutrientes.org/micronutrientes-quelados-y-complejados>
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in Soils and Plants*. Boca Raton, USA: CRC Press.

- Kaplan, J. (2001). *Observations on Salvia splendens of the Lamiaceae family*. Marzo 10, 2017, de University of California, Berkeley Sitio web: <https://www.ocf.berkeley.edu/~llau/piecesofwork/plantmorph.html>
- Kapulnik, Y.; Douds, D. (2000). *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Países Bajos: Springer.
- Kintzios, S. (2000). *Sage: The Genus Salvia (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles)*. Ámsterdam, Holanda: CRC Press.
- Kramer, U. (2010). *Metal hyperaccumulation in plants*. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61: 517-534.
- Kvesitadze, G.; Khatisashvili G.; Sadunishvili T. (2006). *Biochemical Mechanisms of Detoxification in Higher Plants*. Londres, Reino Unido: Springer.
- Lucena, J. (2009). El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres*, Volumen 56, pp. 527-535.
- Mackova, M.; Dowling, D. & Macek, T. (2010). *Phytoremediation and rhizoremediation*. Países Bajos: Springer.
- Madrid, F.; Diaz-Barrientos, E. & Madrid, L. (2008). *Availability and bio-accessibility of metals in the clay fraction of urban soils of Sevilla*. *Environmental Pollution*, 156, 605–610.
- Maestri, E.; Marmiroli, M.; Visioli, G. & Marmiroli, N. (2010). *Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment*. *Environmental and Experimental Botany* 68: 1-13.
- Magdi, H. (2011). *Dynamics and bioavailability of heavy metals in the rootzone*. New York, USA: CRC Press.

- Marrero-Coto, J.; Amores-Sánchez, I. & Coto-Pérez, O. (2012). *Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental*. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 46, pp. 52-61.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Lima, Perú: Mavet Impresiones E.I.R.L.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM. Diciembre 10, 2018, de El Peruano Sitio web: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS\\_011-2017-MINAM.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf)
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017, junio 9). Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM. El Peruano, pp. 10-19.
- Municipalidad de Jesús María. (2018). Recorrido Turístico del Parque “Campo de Marte”. diciembre 12, 2018, de Municipalidad de Jesús María Sitio web: <http://www.munijesusmaria.gob.pe/index.php/recorrido-turistico/745-campo-de-marte>
- Municipalidad de Miraflores. (2018). Miraflores: Lugares para salir de la rutina. diciembre 12, 2018, de Municipalidad de Miraflores Sitio web: [http://www.miraflores.gob.pe/\\_contenTempl3.php?idcontenido=10026](http://www.miraflores.gob.pe/_contenTempl3.php?idcontenido=10026)
- Nowak, J. (2007, Marzo 03). Effects of cadmium and lead concentrations and arbuscular mycorrhiza on growth, flowering, and heavy metal accumulation in Scarlet sage (*Salvia splendens* Sello “Torreador”). *ACTA AGROBOTANICA*, 60, 79-83.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Intoxicación por plomo y salud*. Abril 03, 2018, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>

- Organización Mundial de la Salud. (2014, octubre). Preguntas Frecuentes. *SEMANA DE ACCIÓN INTERNACIONAL PARA PREVENIR EL ENVENENAMIENTO POR PLOMO: DEL 19 AL 25 DE OCTUBRE DE 2014*, Volumen 1, pp.1-5.
- OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería). 1998. Aprueban el Reglamento de Infracciones y Sanciones al D.S.No.019-98-MTC que dispuso eliminar del mercado la oferta de Gasolina 95RON con plomo. RESOLUCIÓN 405-98-OS/CD. El Peruano; Lima, miércoles 4 de noviembre de 1998; AÑO XVI - N° 6706: 165412-165413. Perú.
- Panez, M.G. (2013). *Propuesta para la restauración de suelos contaminados por metales pesados afectados por la actividad minera mediante el uso de fitorremediación*. (Tesis de pregrado). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Peterson, R.; Massiccote, H. & Melville, L. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. Ottawa, Canadá: CABI Publishing
- Shabala, S. (2012). *Plant Stress Physiology*. Tasmania, Australia: CAB International.
- Sharma, P. & Shanker, D. (2005). Lead Toxicity in Plants. *Plant Physiology*, Vol. 17, pp.35-52.
- Solano, D.; Cuba, A. & Narciso, J. (2017). *Desarrollo Sostenible y Estándares de Calidad Ambiental*. Lima. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Brasil: Springer.
- Tamayo, J.; Vásquez, A. & De la Cruz, R. (2015). *La industria de los hidrocarburos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país*. Lima, Perú: Osinergmin.
- Tello, L.; Jave, J. & Guerrero, J. (2018, febrero 20). Análisis de cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima - Perú. *Ecología Aplicada*, 17, pp. 1-12.

Universidad Nacional Agraria La Molina. (2018). Plano del campus UNALM (en línea).  
Disponible en

U.S. National Plant Germplasm System. (2014). *Taxon: Salvia splendens*. Marzo 10, 2017,  
de United States Department of Agriculture. Sitio web: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?70596>

Violante, A.; Huang, P.; Gadd, G. (2007). *Biophysico-chemical processes of heavy metals and metalloids in soil environments*. USA: Wiley-Interscience.

Wenzel, W.; Lombi, E. & Adriano, D. (2004). *Heavy Metal Stress in Plants*. Hyderabad, India: Springer.



## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque Campo de Marte

Número de muestra			Número de muestra		
Lab	Claves	Pb ppm	Lab	Claves	Pb ppm
2102	CM1	369.68	2123	CM22	212.48
2103	CM2	302.15	2124	CM23	229.21
2104	CM3	112.49	2125	CM24	413.2
2105	CM4	485.64	2126	CM25	270.2
2106	CM5	375.18	2127	CM26	220.63
2107	CM6	124.71	2128	CM27	247.4
2108	CM7	202.86	2129	CM28	156.86
2109	CM8	225.38	2130	CM29	150.09
2110	CM9	153.62	2131	CM30	258.6
2111	CM10	134.51	2132	CM31	297.98
2112	CM11	361.97	2133	CM32	132.84
2113	CM12	286.55	2134	CM33	365.63
2114	CM13	197.48	2135	CM34	311.17
2115	CM14	134.77	2136	CM35	408.38
2116	CM15	140.29	2137	CM36	228.23
2117	CM16	166.47	2138	CM37	215.94
2118	CM17	136.18	2139	CM38	243.76
2119	CM18	163.84	2140	CM39	314.17
2120	CM19	203	2141	CM40	248.85
2121	CM20	244.54	2142	CM41	302.73
2122	CM21	188.32	2143	CM42	217.72

## Anexo 2: Concentración de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque

### Kennedy

Número de muestra			Pb	Número de muestra			Pb
Lab	Claves	ppm		Lab	Claves	ppm	
1968	PK1	177.77		1978	PK11	76.9	
1969	PK2	65.98		1979	PK12	30.79	
1970	PK3	50.63		1980	PK13	64.3	
1971	PK4	71.89		1981	PK14	54.8	
1972	PK5	23.32		1982	PK15	151.01	
1973	PK6	35.22		1983	PK16	138.32	
1974	PK7	70.58		1984	PK17	31.45	
1975	PK8	136.81		1985	PK18	24.55	
1976	PK9	13.86		1986	PK19	52.3	
1977	PK10	10.65					

## Anexo 3: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de detalle en el parque Campo de

### Marte

Número de muestra			Pb	Número de muestra			Pb	Número de muestra			Pb
Lab	Claves	ppm		Lab	Claves	ppm		Lab	Claves	ppm	
2144	CM1	315.5		2555	CM23	178.19		2576	CM44	131.22	
2145	CM2	66.42		2556	CM24	237.52		2577	CM45	106.31	
2146	CM3	167.32		2557	CM25	361.86		2578	CM46	114.45	
2147	CM4	202.1		2558	CM26	226.01		2579	CM47	188.72	
2148	CM5	187.61		2559	CM27	313.22		2580	CM48	128.91	
2149	CM6	143.27		2560	CM28	224.62		2581	CM49	135.9	
2150	CM7	91.17		2561	CM29	312.56		2582	CM50	142.09	
2151	CM8	157.21		2562	CM30	251.1		2583	CM51	117.14	
2541	CM9	324.24		2563	CM31	271.72		2584	CM52	158.66	
2542	CM10	267.26		2564	CM32	307.86		2585	CM53	250.44	
2543	CM11	383.98		2565	CM33	362.54		2586	CM54	175.49	
2544	CM12	307.53		2566	CM34	198.8		2587	CM55	225.72	
2545	CM13	210.02		2567	CM35	247.34		2588	CM56	98.05	
2546	CM14	183.34		2568	CM36	187.78		2589	CM57	239.62	
2547	CM15	200.43		2569	CM37	297.98		2590	CM58	240.09	
2548	CM16	359.16		2570	CM38	411.86		2591	CM59	167.08	
2549	CM17	92.09		2571	CM39	224.85		2592	CM60	265.12	
2550	CM18	175.42		2572	CM40	178.4		2593	CM61	154.78	
2551	CM19	109.43		2573	CM41	280.77		2594	CM62	178.08	
2552	CM20	357.48		2574	CM42	173.3		2595	CM63	169.34	
2553	CM21	251.73		2575	CM43	146.91		2596	CM64	101.34	
2554	CM22	201.01									

**Anexo 4: Cantidad de plomo (ppm) en el muestreo de identificación en el parque “Kennedy”**

Número de muestra		Pb ppm	Número de muestra		Pb ppm
Lab	Claves		Lab	Claves	
1987	PK20	55.68	1994	PK27	40.98
1988	PK21	18.64	1995	PK28	16.45
1989	PK22	148.49	1996	PK29	31.81
1990	PK23	149.54	1997	PK30	29.54
1991	PK24	23.79	1998	PK31	71.18
1992	PK25	30.57	1999	PK32	20.33
1993	PK26	40.25			

**Anexo 5: Análisis estadísticos de la concentración de plomo en los tejidos de las plantas en suelo del Campo de Marte**

En las raíces

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2584,286 <sup>a</sup>	5	516.857	3.844	.029
Intersección	36216.499	1	36216.499	269.328	.000
Agua	842.701	2	421.350	3.133	.084
Micorrizas	880.454	1	880.454	6.548	.027
Agua * Micorrizas	1035.940	2	517.970	3.852	.054
Error	1479.167	11	134.470		
Total	39307.315	17			
Total corregido	4063.453	16			

a. R al cuadrado = ,636 (R al cuadrado ajustada = ,471)

En tallos y hojas

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	19,984 <sup>a</sup>	5	3.997	.765	.592
Intersección	2096.713	1	2096.713	401.279	.000
Agua	1.119	2	.560	.107	.899
Micorrizas	14.383	1	14.383	2.753	.123
Agua * Micorrizas	4.482	2	2.241	.429	.661
Error	62.701	12	5.225		
Total	2179.398	18			
Total corregido	82.685	17			

a. R al cuadrado = ,242 (R al cuadrado ajustada = -,074)

En inflorescencias

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	84,649 <sup>a</sup>	5	16.930	1.215	.360
Intersección	3138.168	1	3138.168	225.242	.000
Agua	42.586	2	21.293	1.528	.256
Micorrizas	38.281	1	38.281	2.748	.123
Agua * Micorrizas	3.782	2	1.891	.136	.874
Error	167.189	12	13.932		
Total	3390.006	18			
Total corregido	251.838	17			

a. R al cuadrado = ,336 (R al cuadrado ajustada = ,060)

## Anexo 6: Análisis estadísticos de la concentración de plomo en los tejidos de las plantas en suelo del parque “Kennedy”

En las raíces

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	765,474 <sup>a</sup>	5	153.095	8.648	.002
Intersección	9927.077	1	9927.077	560.762	.000
Agua	398.429	2	199.214	11.253	.002
Micorrizas	90.958	1	90.958	5.138	.045
Agua * Micorrizas	257.588	2	128.794	7.275	.010
Error	194.731	11	17.703		
Total	11080.837	17			
Total corregido	960.205	16			

a. R al cuadrado = ,797 (R al cuadrado ajustada = ,705)

En tallos y hojas

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	130,461 <sup>a</sup>	5	26.092	2.780	.068
Intersección	2363.510	1	2363.510	251.825	.000
Agua	47.573	2	23.787	2.534	.121
Micorrizas	81.835	1	81.835	8.719	.012
Agua * Micorrizas	1.053	2	.526	.056	.946
Error	112.626	12	9.386		
Total	2606.597	18			
Total corregido	243.087	17			

a. R al cuadrado = ,537 (R al cuadrado ajustada = ,344)

## En inflorescencias

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	21,011 <sup>a</sup>	5	4.202	2.646	.083
Intersección	1950.600	1	1950.600	1228.469	.000
Agua	7.657	2	3.829	2.411	.135
Micorrizas	4.895	1	4.895	3.083	.107
Agua * Micorrizas	10.979	2	5.489	3.457	.068
Error	17.466	11	1.588		
Total	1990.589	17			
Total corregido	38.477	16			

a. R al cuadrado = ,546 (R al cuadrado ajustada = ,340)

## Anexo 7: Análisis estadístico de la longitud de los tallos

En suelo del parque ‘Campo de Marte’ (suelo con niveles de plomo que superan los límites ECA de suelo)

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: VAR00003

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	11,678 <sup>a</sup>	5	2,336	1,067	,425
Intersección	1830,125	1	1830,125	836,098	,000
Micorriza	3,125	1	3,125	1,428	,255
Agua	8,470	2	4,235	1,935	,187
Micorriza * Agua	,083	2	,042	,019	,981
Error	26,267	12	2,189		
Total	1868,070	18			
Total corregido	37,945	17			

a. R al cuadrado = ,308 (R al cuadrado ajustada = ,019)

En suelo del parque “Kennedy” (suelo no contaminado, con niveles de plomo que no superan los límites ECA de suelo)

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: VAR00003

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	31,123 <sup>a</sup>	5	6,225	1,104	,408
Intersección	1798,001	1	1798,001	318,857	,000
Micorriza	11,045	1	11,045	1,959	,187
Agua	4,434	2	2,217	,393	,683
Micorriza * Agua	15,643	2	7,822	1,387	,287
Error	67,667	12	5,639		
Total	1896,790	18			
Total corregido	98,789	17			

a. R al cuadrado = ,315 (R al cuadrado ajustada = ,030)

### Anexo 8: Análisis estadístico de la longitud de las inflorescencias

En suelo del parque 'Campo de Marte' (suelo contaminado, con niveles de plomo que superan los límites ECA de suelo)

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: VAR00003

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	54,831 <sup>a</sup>	5	10,966	,901	,511
Intersección	3772,909	1	3772,909	310,145	,000
Micorriza	10,580	1	10,580	,870	,369
Agua	2,608	2	1,304	,107	,899
Micorriza * Agua	41,643	2	20,822	1,712	,222
Error	145,980	12	12,165		
Total	3973,720	18			
Total corregido	200,811	17			

a. R al cuadrado = ,273 (R al cuadrado ajustada = -,030)

En suelo del parque 'Kennedy' (suelo no contaminado, con niveles de plomo que no superan los límites ECA de suelo)

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: VAR00003

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	174,351 <sup>a</sup>	5	34,870	1,925	,170
Intersección	5270,993	1	5270,993	291,059	,000
Micorriza	90,462	1	90,462	4,995	,047
Agua	91,056	2	45,528	2,514	,126
Micorriza * Agua	20,530	2	10,265	,567	,583
Error	199,207	11	18,110		
Total	6011,920	17			
Total corregido	373,558	16			

a. R al cuadrado = ,467 (R al cuadrado ajustada = ,224)

**Anexo 9: Mediciones de altura de tallo (cm)**

CAMPO DE MARTE					
Fecha	Calidad de Agua	Nivel de Micorriza			
		Sin Micorriza		Con Micorriza	
18/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.3	R1	2.4
		R2	1.6	R2	2.3
		R3	2.2	R3	3.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	2.7	R1	1.8
		R2	2.5	R2	1.8
		R3	2.9	R3	2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	3.1	R1	3.2
		R2	3.4	R2	2.1
		R3	2.2	R3	2.4
21/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.9	R1	2.5
		R2	1.8	R2	2.6
		R3	2.4	R3	3.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	3	R1	2
		R2	2.8	R2	1.9
		R3	3	R3	2.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	3.3	R1	3.5
		R2	3.7	R2	2.3
		R3	2.5	R3	2.5
23/11/2016	Agua Desionizada	R1	4.4	R1	2.5
		R2	2.1	R2	2.8
		R3	2.5	R3	3.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.2	R1	2.2
		R2	3.1	R2	2
		R3	3.2	R3	2.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	3.6	R1	3.9
		R2	4	R2	2.4
		R3	2.7	R3	2.5



<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
25/11/2016	Agua Desionizada	R1	4.6	R1	2.7
		R2	2.4	R2	3
		R3	2.8	R3	4
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.4	R1	2.3
		R2	3.3	R2	2.2
		R3	3.4	R3	2.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	3.7	R1	4.1
		R2	4.8	R2	2.6
		R3	3.1	R3	2.9
28/11/2016	Agua Desionizada	R1	5.2	R1	3.1
		R2	3.8	R2	3.6
		R3	4.1	R3	5
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.6	R1	2.9
		R2	4.6	R2	2.8
		R3	4.6	R3	3.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.7	R1	4.7
		R2	6.1	R2	3.1
		R3	3.8	R3	3.9
30/11/2016	Agua Desionizada	R1	5.4	R1	3.2
		R2	4	R2	3.8
		R3	4.2	R3	5
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.8	R1	2.9
		R2	4.8	R2	3
		R3	4.7	R3	3.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.9	R1	5
		R2	6.2	R2	3.3
		R3	3.9	R3	4.1
02/12/2016	Agua Desionizada	R1	5.5	R1	3.4
		R2	4	R2	3.8
		R3	4.2	R3	5.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.9	R1	3.1
		R2	4.9	R2	3
		R3	4.9	R3	3.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5	R1	5.2
		R2	6.2	R2	3.3
		R3	3.9	R3	4.1

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
05/12/2016	Agua Desionizada	R1	7	R1	4.1
		R2	6.4	R2	5.1
		R3	5.9	R3	7.3
	Agua Desionizada + Pb	R1	6.6	R1	3.9
		R2	6.3	R2	3.8
		R3	6.9	R3	5.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	6.8	R1	7.2
		R2	8.1	R2	4.8
		R3	6.1	R3	6.1
07/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.4	R1	4.5
		R2	7.2	R2	5.5
		R3	7.4	R3	8.3
	Agua Desionizada + Pb	R1	7.8	R1	4.7
		R2	7.2	R2	4.2
		R3	7.3	R3	6.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	7.8	R1	7.9
		R2	9.4	R2	5.6
		R3	6.3	R3	7.4
09/12/2016	Agua Desionizada	R1	9.7	R1	5.2
		R2	7.6	R2	5.7
		R3	7.9	R3	9.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	8.8	R1	5
		R2	7.8	R2	4.9
		R3	9.3	R3	7.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	8.1	R1	8.8
		R2	10.4	R2	6
		R3	7.4	R3	7.9
12/12/2016	Agua Desionizada	R1	10.2	R1	5.5
		R2	9.3	R2	6.9
		R3	8.3	R3	9.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	9	R1	5.4
		R2	8	R2	5
		R3	9.6	R3	7.7
	Agua de Huachipa + Pb	R1	9.1	R1	9.8
		R2	10.3	R2	6.1
		R3	7.3	R3	8.5

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
14/12/2016	Agua Desionizada	R1	11.1	R1	6.9
		R2	9	R2	7.2
		R3	9.4	R3	10.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	9	R1	5.9
		R2	8	R2	5.4
		R3	10.3	R3	7.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	9.9	R1	9.7
		R2	12.2	R2	6.9
		R3	8.4	R3	9.1
16/12/2016	Agua Desionizada	R1	11.9	R1	7.6
		R2	9.4	R2	7.4
		R3	10	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	6.1
		R2	8.3	R2	6.5
		R3	10.3	R3	8.1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	9.8
		R2	13.2	R2	7.2
		R3	9.2	R3	10.6
19/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	9.3
		R2	9.8	R2	7.8
		R3	10.1	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	7.3
		R2	8.3	R2	7.2
		R3	10.6	R3	8.1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.5	R2	8.7
		R3	9.3	R3	11.8
21/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.8	R2	7.8
		R3	10.1	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	7.7
		R2	8.3	R2	8.3
		R3	10.6	R3	8.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	8.7
		R3	9.3	R3	11.9

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
23/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	8.8
		R2	8.3	R2	8.6
		R3	10.6	R3	8.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	10
		R2	13.6	R2	8.9
		R3	9.3	R3	11.9
26/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.3	R2	8.8
		R3	10.6	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
28/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.3	R2	8.9
		R3	10.6	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
30/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.3	R2	8.9
		R3	10.7	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
02/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.3	R2	8.9
		R3	10.7	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
04/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
06/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
09/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
11/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
13/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
16/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9
18/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
20/01/2017	Agua Desionizada	R1	12.1	R1	10
		R2	9.9	R2	7.8
		R3	10.2	R3	11.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	9
		R2	8.4	R2	8.9
		R3	10.9	R3	8.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	10
		R2	13.6	R2	9.3
		R3	9.3	R3	11.9

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
18/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.1	R1	4
		R2	3.9	R2	4.5
		R3	3.7	R3	4.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.9	R1	4
		R2	3.6	R2	2.7
		R3	3.8	R3	2.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.6	R1	2.9
		R2	3	R2	3
		R3	4	R3	2.7
21/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.2	R1	4.3
		R2	4.1	R2	4.8
		R3	3.9	R3	4.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.9	R1	4.2
		R2	3.8	R2	2.8
		R3	4.1	R3	2.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.7	R1	2.9
		R2	3	R2	3.1
		R3	4.1	R3	2.8
23/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.3	R1	4.4
		R2	4.1	R2	4.9
		R3	3.9	R3	4.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.9	R1	4.2
		R2	3.9	R2	2.8
		R3	4.1	R3	2.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.9	R1	2.9
		R2	3	R2	3.1
		R3	4.1	R3	2.8
25/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.3	R1	4.4
		R2	4.1	R2	4.9
		R3	3.9	R3	4.3
	Agua Desionizada + Pb	R1	4	R1	4.4
		R2	3.9	R2	2.8
		R3	4.1	R3	2.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.9	R1	3
		R2	3.1	R2	3.1
		R3	4.2	R3	2.9



<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
28/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.5	R1	4.6
		R2	4.4	R2	5.1
		R3	4.2	R3	4.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.5	R1	4.6
		R2	4.2	R2	3.1
		R3	4.4	R3	2.7
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5.2	R1	3.3
		R2	3.4	R2	3.5
		R3	4.5	R3	3.3
30/11/2016	Agua Desionizada	R1	3.8	R1	4.9
		R2	4.8	R2	5.7
		R3	4.7	R3	5.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.8	R1	4.9
		R2	4.6	R2	3.3
		R3	4.8	R3	2.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5.5	R1	3.3
		R2	3.6	R2	3.6
		R3	4.8	R3	3.4
02/12/2016	Agua Desionizada	R1	4	R1	5.1
		R2	5.1	R2	6.1
		R3	5	R3	5.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	5.2	R1	5.3
		R2	4.9	R2	3.3
		R3	5.1	R3	3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5.9	R1	3.4
		R2	3.9	R2	3.9
		R3	5.3	R3	3.7
05/12/2016	Agua Desionizada	R1	5.1	R1	6.2
		R2	6.4	R2	8.5
		R3	6.8	R3	7.3
	Agua Desionizada + Pb	R1	7.7	R1	6.9
		R2	6.9	R2	4.3
		R3	7	R3	4.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	8.5	R1	4.4
		R2	5.5	R2	5.5
		R3	7.4	R3	5.6

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
07/12/2016	Agua Desionizada	R1	6.5	R1	6.9
		R2	7.9	R2	10.6
		R3	8.6	R3	8.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.1	R1	8.2
		R2	8.4	R2	5.1
		R3	8.4	R3	5.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.3	R1	4.8
		R2	6.3	R2	6.7
		R3	9.6	R3	6.9
09/12/2016	Agua Desionizada	R1	6.8	R1	7
		R2	9	R2	10.7
		R3	8.6	R3	9.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.5	R1	8.5
		R2	9	R2	5.1
		R3	8.6	R3	5.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.4	R1	5.1
		R2	6.5	R2	7
		R3	9.6	R3	7.2
12/12/2016	Agua Desionizada	R1	7.5	R1	7.1
		R2	9	R2	11.1
		R3	10.2	R3	9.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.6	R1	10
		R2	9	R2	6
		R3	8.8	R3	7.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	5.7
		R2	6.9	R2	7.2
		R3	11.3	R3	8.1
14/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.2	R1	7.1
		R2	9.2	R2	11.3
		R3	10.6	R3	9.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.8	R1	10.9
		R2	9	R2	6
		R3	8.8	R3	7.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	5.8
		R2	7.2	R2	
		R3	12.3	R3	9.4

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
16/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.5	R1	7.3
		R2	9.2	R2	11.9
		R3	10.9	R3	9.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.5	R1	11
		R2	9.1	R2	6.4
		R3	8.9	R3	7.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	10.8	R1	5.8
		R2	7.5	R2	
		R3	12.9	R3	9.9
19/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.6	R1	7.4
		R2	9.2	R2	12.5
		R3	11.1	R3	9.9
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.4	R1	11
		R2	9.2	R2	6.5
		R3	8.9	R3	7.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.1	R1	5.9
		R2	7.9	R2	
		R3	12.9	R3	9.9
21/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.8	R1	7.4
		R2	9.2	R2	13.8
		R3	11.1	R3	10.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.4	R1	11
		R2	9.2	R2	6.6
		R3	8.9	R3	7.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.1	R1	5.9
		R2	8	R2	
		R3	13	R3	10.1
23/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.8	R1	7.5
		R2	9.3	R2	13.7
		R3	11.3	R3	11
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.7	R1	11.3
		R2	9.5	R2	6.9
		R3	9	R3	7.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6
		R2	8	R2	
		R3	13	R3	10.6

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
26/12/2016	Agua Desionizada	R1	9	R1	7.5
		R2	9.3	R2	13.9
		R3	11.3	R3	11
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.8	R1	11.3
		R2	9.5	R2	7
		R3	9	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6
		R2	8.3	R2	
		R3	13.1	R3	10.6
28/12/2016	Agua Desionizada	R1	9	R1	7.5
		R2	9.5	R2	13.9
		R3	11.3	R3	11
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.8	R1	11.3
		R2	9.5	R2	7
		R3	9	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6
		R2	8.3	R2	
		R3	13.1	R3	10.6
30/12/2016	Agua Desionizada	R1	9	R1	7.5
		R2	9.5	R2	13.9
		R3	11.3	R3	11
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.8	R1	11.3
		R2	9.5	R2	7
		R3	9	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6
		R2	8.3	R2	
		R3	13.1	R3	10.6
02/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.1	R1	7.8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.4	R3	11
	Agua Desionizada + Pb	R1	12	R1	11.4
		R2	9.8	R2	7.1
		R3	9.1	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6.1
		R2	8.4	R2	
		R3	13.2	R3	10.6

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
04/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.2	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.1	R1	11.4
		R2	9.8	R2	7.1
		R3	9.2	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6.1
		R2	8.4	R2	
		R3	13.2	R3	10.7
06/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.2	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.1	R1	11.4
		R2	9.8	R2	7.1
		R3	9.2	R3	8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.8	R1	6.1
		R2	8.4	R2	
		R3	13.2	R3	10.7
09/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11
11/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
13/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11
16/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11
18/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11
20/01/2017	Agua Desionizada	R1	9.5	R1	8
		R2	9.5	R2	14
		R3	11.6	R3	11.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	12.2	R1	11.4
		R2	9.9	R2	7.4
		R3	9.5	R3	8.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.7	R1	6.8
		R2	8.5	R2	
		R3	13.2	R3	11

**Anexo 10: Mediciones de longitud de inflorescencia (cm)**

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
12/12/2016	Agua Desionizada	R1	3.1	R1	0
		R2	1.1	R2	0
		R3	1.4	R3	1.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	2.1	R1	0
		R2	1.8	R2	0
		R3	1.4	R3	1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	2.8	R1	1.2
		R2	1.9	R2	0
		R3	0	R3	0
14/12/2016	Agua Desionizada	R1	4.3	R1	0
		R2	1.8	R2	0
		R3	2	R3	2.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.4	R1	0
		R2	2.9	R2	0
		R3	1.8	R3	1.7
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.1	R1	2.4
		R2	3.2	R2	0
		R3	0	R3	0
16/12/2016	Agua Desionizada	R1	5	R1	0
		R2	2.9	R2	0
		R3	3.1	R3	3.6
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.4	R1	0
		R2	3.9	R2	0
		R3	2.5	R3	2.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5.3	R1	4.2
		R2	5.1	R2	0
		R3	0	R3	0
19/12/2016	Agua Desionizada	R1	7.5	R1	1
		R2	4.3	R2	2.8
		R3	4.9	R3	5.6
	Agua Desionizada + Pb	R1	6.9	R1	0.8
		R2	5	R2	0.9
		R3	4.8	R3	4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	7.2	R1	6
		R2	6.2	R2	2.2
		R3	2.2	R3	1.3

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
21/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.8	R1	1.8
		R2	5.9	R2	3
		R3	5.8	R3	7.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	8.5	R1	2.8
		R2	5.5	R2	1.8
		R3	7.2	R3	7.1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	8.7	R1	7.2
		R2	7.6	R2	4.1
		R3	4	R3	5.5
23/12/2016	Agua Desionizada	R1	11.5	R1	3.2
		R2	7.6	R2	4.6
		R3	7.7	R3	8.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.3	R1	3.9
		R2	7.2	R2	3.1
		R3	7.6	R3	9.6
	Agua de Huachipa + Pb	R1	11.2	R1	8.1
		R2	8.9	R2	5.5
		R3	7.1	R3	5.7
26/12/2016	Agua Desionizada	R1	12.2	R1	6
		R2	8.9	R2	7.9
		R3	9.7	R3	10.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	11.6	R1	6.9
		R2	9.3	R2	5
		R3	9.5	R3	11.7
	Agua de Huachipa + Pb	R1	13.9	R1	11.4
		R2	10.8	R2	8.4
		R3	8.6	R3	8
28/12/2016	Agua Desionizada	R1	13.3	R1	6.9
		R2	10.1	R2	8.8
		R3	10.1	R3	11.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	13.5	R1	7.7
		R2	10.9	R2	5.7
		R3	9.8	R3	12.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	14.6	R1	11.7
		R2	11	R2	10.4
		R3	8.8	R3	9.2



<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
30/12/2016	Agua Desionizada	R1	14.2	R1	7.4
		R2	10.2	R2	10.1
		R3	10.5	R3	12
	Agua Desionizada + Pb	R1	15.2	R1	8.3
		R2	12.8	R2	6.1
		R3	9.8	R3	12.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	15.4	R1	12.1
		R2	11	R2	12.2
		R3	9	R3	10.1
02/01/2017	Agua Desionizada	R1	15.9	R1	8.5
		R2	10.1	R2	12.4
		R3	11.5	R3	13.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	18.2	R1	9.5
		R2	15	R2	7.7
		R3	10.1	R3	13.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	16.4	R1	13.1
		R2	11	R2	13.1
		R3	9.8	R3	11.2
04/01/2017	Agua Desionizada	R1	16.5	R1	8.5
		R2	10.1	R2	12.7
		R3	11.9	R3	14.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	19.7	R1	10.5
		R2	15.5	R2	8.4
		R3	10.1	R3	13.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	17.7	R1	14.6
		R2	11.4	R2	13.6
		R3	9.8	R3	11.3
06/01/2017	Agua Desionizada	R1	17.2	R1	8.5
		R2	10.1	R2	12.7
		R3	12.4	R3	14.9
	Agua Desionizada + Pb	R1	18.8	R1	11.5
		R2	15.6	R2	8.2
		R3	10.4	R3	13.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	17.8	R1	15.1
		R2	11.4	R2	14
		R3	9.8	R3	11.3

<b>CAMPO DE MARTE</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
09/01/2017	Agua Desionizada	R1	17.8	R1	10
		R2	10.1	R2	13.1
		R3	12.6	R3	15.7
	Agua Desionizada + Pb	R1	20	R1	11.5
		R2	17.1	R2	8.5
		R3	10.9	R3	13.7
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.6	R1	16.7
		R2	11.9	R2	15.2
		R3	10.2	R3	12.4
11/01/2017	Agua Desionizada	R1	18.1	R1	10
		R2	10.1	R2	13.1
		R3	13.9	R3	16.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	20	R1	11.8
		R2	19	R2	8.7
		R3	11.7	R3	14.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.8	R1	17.3
		R2	11.9	R2	16.2
		R3	10.2	R3	12.8
13/01/2017	Agua Desionizada	R1	18.1	R1	10.3
		R2	10.1	R2	14.3
		R3	14.4	R3	16.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	20	R1	11.8
		R2	19.5	R2	9.7
		R3	13.5	R3	14.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	19.3	R1	17.3
		R2	11.9	R2	16.2
		R3	10.4	R3	12.8
16/01/2017	Agua Desionizada	R1	18.1	R1	10.3
		R2	10.1	R2	14.3
		R3	14.4	R3	16.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	20	R1	11.8
		R2	19.5	R2	9.7
		R3	13.5	R3	14.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	19.3	R1	17.3
		R2	11.9	R2	16.2
		R3	10.4	R3	12.8

<b>CAMPO DE MARTE</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>				
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>		
18/01/2017	Agua Desionizada	R1	18.1	R1	10.3	
		R2	10.1	R2	14.3	
		R3	14.4	R3	16.5	
	Agua Desionizada + Pb	R1	20	R1	11.8	
		R2	19.5	R2	9.7	
		R3	13.5	R3	14.5	
	Agua de Huachipa + Pb	R1	19.3	R1	17.3	
		R2	11.9	R2	16.2	
		R3	10.4	R3	12.8	
	20/01/2017	Agua Desionizada	R1	18.1	R1	10.3
			R2	10.1	R2	14.3
			R3	14.4	R3	16.5
Agua Desionizada + Pb		R1	20	R1	11.8	
		R2	19.5	R2	9.7	
		R3	13.5	R3	14.5	
Agua de Huachipa + Pb		R1	19.3	R1	17.3	
		R2	11.9	R2	16.2	
		R3	10.4	R3	12.8	

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
12/12/2016	Agua Desionizada	R1	0	R1	3.2
		R2	2.9	R2	3
		R3	2.8	R3	2.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	0	R1	3
		R2	0	R2	0
		R3	3.1	R3	0
	Agua de Huachipa + Pb	R1	3.3	R1	0
		R2	0	R2	
		R3	3.5	R3	0
14/12/2016	Agua Desionizada	R1	0	R1	4.1
		R2	3.8	R2	3.9
		R3	3.5	R3	3.8
	Agua Desionizada + Pb	R1	2.3	R1	4.2
		R2	2	R2	0
		R3	4.2	R3	0
	Agua de Huachipa + Pb	R1	4.2	R1	0
		R2	2.4	R2	
		R3	4.4	R3	0
16/12/2016	Agua Desionizada	R1	0	R1	5.3
		R2	4.6	R2	5.1
		R3	4.2	R3	4.9
	Agua Desionizada + Pb	R1	3.1	R1	6.2
		R2	2.6	R2	0
		R3	6.8	R3	2.1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	5.5	R1	0
		R2	3.2	R2	
		R3	6.2	R3	2
19/12/2016	Agua Desionizada	R1	2.2	R1	8.2
		R2	8.5	R2	7.5
		R3	7	R3	8.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	4.8	R1	8.2
		R2	6.2	R2	2
		R3	10.6	R3	3.8
	Agua de Huachipa + Pb	R1	8.1	R1	1
		R2	6.3	R2	
		R3	9	R3	4.3

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
21/12/2016	Agua Desionizada	R1	3.5	R1	9
		R2	11.7	R2	9.2
		R3	9.4	R3	10.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	6.8	R1	9.5
		R2	8.6	R2	2
		R3	11.9	R3	4.5
	Agua de Huachipa + Pb	R1	9.2	R1	3.6
		R2	7.5	R2	
		R3	11.2	R3	7.4
23/12/2016	Agua Desionizada	R1	8.2	R1	10.1
		R2	14.2	R2	11.9
		R3	11.7	R3	10.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	8.9	R1	10.9
		R2	9.4	R2	4.3
		R3	14.4	R3	7.1
	Agua de Huachipa + Pb	R1	12.1	R1	5.2
		R2	10.1	R2	
		R3	12.7	R3	8.3
26/12/2016	Agua Desionizada	R1	10.7	R1	11.7
		R2	15.6	R2	15.4
		R3	15.7	R3	16.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.1	R1	13.9
		R2	12.1	R2	7
		R3	16.2	R3	11.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	14.1	R1	6.8
		R2	13.7	R2	
		R3	16.1	R3	9.6
28/12/2016	Agua Desionizada	R1	13.1	R1	13.2
		R2	16.8	R2	15.9
		R3	16.2	R3	17.4
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.2	R1	14.5
		R2	14.2	R2	7.2
		R3	17.9	R3	13.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	15.6	R1	6.9
		R2	14.8	R2	
		R3	16.6	R3	10.1

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
30/12/2016	Agua Desionizada	R1	16.2	R1	14.4
		R2	17.4	R2	16.4
		R3	17.3	R3	18.1
	Agua Desionizada + Pb	R1	9.5	R1	15.1
		R2	16.3	R2	7.6
		R3	19.4	R3	14.9
	Agua de Huachipa + Pb	R1	16.1	R1	6.9
		R2	15.5	R2	
		R3	17.1	R3	10.9
02/01/2017	Agua Desionizada	R1	19.1	R1	16.3
		R2	20.8	R2	17.1
		R3	18	R3	18.3
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.5	R1	15.9
		R2	18.4	R2	8.8
		R3	23.2	R3	16
	Agua de Huachipa + Pb	R1	17	R1	7.2
		R2	17.3	R2	
		R3	18.6	R3	12.5
04/01/2017	Agua Desionizada	R1	19.9	R1	17.2
		R2	21.5	R2	17.4
		R3	19.6	R3	18.5
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.9	R1	15.9
		R2	18.4	R2	8.9
		R3	24.3	R3	16.2
	Agua de Huachipa + Pb	R1	17.1	R1	7.2
		R2	17.9	R2	
		R3	19.7	R3	12.9
06/01/2017	Agua Desionizada	R1	20.2	R1	16.6
		R2	21.6	R2	18.4
		R3	19.8	R3	19.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.6	R1	19.5
		R2	21.7	R2	9.4
		R3	24.5	R3	19.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	17.9	R1	8.1
		R2	18.1	R2	
		R3	19.9	R3	13.2

<b>PARQUE KENNEDY</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>			
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>	
09/01/2017	Agua Desionizada	R1	20.9	R1	16.6
		R2	22.3	R2	19.1
		R3	19.8	R3	19.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	10.7	R1	19.5
		R2	21.7	R2	10.1
		R3	24.5	R3	19.3
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.1	R1	8.2
		R2	18.1	R2	
		R3	19.9	R3	13.2
11/01/2017	Agua Desionizada	R1	22	R1	16.8
		R2	25.5	R2	21.2
		R3	19.9	R3	19.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	11	R1	19.6
		R2	21.7	R2	10.1
		R3	24.5	R3	19.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.5	R1	8.6
		R2	18.3	R2	
		R3	19.9	R3	13.4
13/01/2017	Agua Desionizada	R1	22	R1	16.8
		R2	25.5	R2	21.2
		R3	19.9	R3	19.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	11	R1	19.6
		R2	21.7	R2	10.1
		R3	24.5	R3	19.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.5	R1	8.6
		R2	18.3	R2	
		R3	19.9	R3	13.4
16/01/2017	Agua Desionizada	R1	22	R1	16.8
		R2	25.5	R2	21.2
		R3	19.9	R3	19.2
	Agua Desionizada + Pb	R1	11	R1	19.6
		R2	21.7	R2	10.1
		R3	24.5	R3	19.4
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.5	R1	8.6
		R2	18.3	R2	
		R3	19.9	R3	13.4

<b>PARQUE KENNEDY</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Calidad de Agua</b>	<b>Nivel de Micorriza</b>				
		<b>Sin Micorriza</b>		<b>Con Micorriza</b>		
18/01/2017	Agua Desionizada	R1	22	R1	16.8	
		R2	25.5	R2	21.2	
		R3	19.9	R3	19.2	
	Agua Desionizada + Pb	R1	11	R1	19.6	
		R2	21.7	R2	10.1	
		R3	24.5	R3	19.4	
	Agua de Huachipa + Pb	R1	18.5	R1	8.6	
		R2	18.3	R2		
		R3	19.9	R3	13.4	
	20/01/2017	Agua Desionizada	R1	22	R1	16.8
			R2	25.5	R2	21.2
			R3	19.9	R3	19.2
Agua Desionizada + Pb		R1	11	R1	19.6	
		R2	21.7	R2	10.1	
		R3	24.5	R3	19.4	
Agua de Huachipa + Pb		R1	18.5	R1	8.6	
		R2	18.3	R2		
		R3	19.9	R3	13.4	



**Anexo 11: Concentración de plomo en tallos y hojas**

			Campo de Marte		Parque Kennedy	
			T1R1	16.2	T7R1	8.06
<b>Concentración Final de Plomo (ppm)</b>	<b>Agua desionizada</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T1R2</b>	9.17	<b>T7R2</b>	7.38
			<b>T1R3</b>	10.2	<b>T7R3</b>	6.87
			<b>T2R1</b>	9.65	<b>T8R1</b>	9.29
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T2R2</b>	12.67	<b>T8R2</b>	14.07
			<b>T2R3</b>	8.75	<b>T8R3</b>	9.71
	<b>Agua desionizada + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T3R1</b>	10.38	<b>T9R1</b>	10.02
			<b>T3R2</b>	10.29	<b>T9R2</b>	13.47
			<b>T3R3</b>	11.47	<b>T9R3</b>	8.76
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T4R1</b>	7.23	<b>T10R1</b>	11.26
			<b>T4R2</b>	10.79	<b>T10R2</b>	20.56
			<b>T4R3</b>	12.49	<b>T10R3</b>	14.39
<b>Agua de Riego + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T5R1</b>	11.09	<b>T11R1</b>	7.18	
		<b>T5R2</b>	13.89	<b>T11R2</b>	13.22	
		<b>T5R3</b>	12.49	<b>T11R3</b>	9.07	
	<b>Con Micorrizas</b>	<b>T6R1</b>	7.9	<b>T12R1</b>	17.68	
		<b>T6R2</b>	10.7	<b>T12R2</b>	14.345	
		<b>T6R3</b>	9.91	<b>T12R3</b>	11.01	

## Anexo 12: Concentración de plomo en inflorescencias

		Campo de Marte		Parque Kennedy		
Concentración Final de Plomo (ppm)	Agua desionizada	Sin Micorrizas	<b>T1R1</b>	17.58	<b>T7R1</b>	10.46
			<b>T1R2</b>	9.24	<b>T7R2</b>	11.54
			<b>T1R3</b>	21.53	<b>T7R3</b>	9.56
		Con Micorrizas	<b>T2R1</b>	15.15	<b>T8R1</b>	9.38
			<b>T2R2</b>	12.47	<b>T8R2</b>	10.02
			<b>T2R3</b>	11.81	<b>T8R3</b>	8.68
	Agua desionizada + Pb	Sin Micorrizas	<b>T3R1</b>	17.69	<b>T9R1</b>	8.43
			<b>T3R2</b>	11.3	<b>T9R2</b>	11.38
			<b>T3R3</b>	15.4	<b>T9R3</b>	10.25
		Con Micorrizas	<b>T4R1</b>	16.28	<b>T10R1</b>	11.03
			<b>T4R2</b>	12.66	<b>T10R2</b>	11.96
			<b>T4R3</b>	10.15	<b>T10R3</b>	12.75
Agua de Riego + Pb	Sin Micorrizas	<b>T5R1</b>	7.92	<b>T11R1</b>	9.97	
		<b>T5R2</b>	16.62	<b>T11R2</b>	10.51	
		<b>T5R3</b>	14.68	<b>T11R3</b>	10.53	
	Con Micorrizas	<b>T6R1</b>	8.5	<b>T12R1</b>	11.91	
		<b>T6R2</b>	9.19	<b>T12R2</b>	14.915	
		<b>T6R3</b>	9.5	<b>T12R3</b>	10.8	

**Anexo 13: Concentración de plomo en las raíces**

		<b>Campo de Marte</b>		<b>Parque Kennedy</b>		
<b>Concentración Final de Plomo (ppm)</b>	<b>Agua desionizada</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T1R1</b>	20.4	<b>T7R1</b>	16.1
			<b>T1R2</b>	38.78	<b>T7R2</b>	16.67
			<b>T1R3</b>	29.59	<b>T7R3</b>	22.82
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T2R1</b>	86.76	<b>T8R1</b>	19.44
			<b>T2R2</b>	45.89	<b>T8R2</b>	18.63
			<b>T2R3</b>		<b>T8R3</b>	15.4
	<b>Agua desionizada + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T3R1</b>	69.52	<b>T9R1</b>	26.02
			<b>T3R2</b>	41.15	<b>T9R2</b>	20.56
			<b>T3R3</b>	55.34	<b>T9R3</b>	31.48
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T4R1</b>	48.59	<b>T10R1</b>	22.49
			<b>T4R2</b>	58.22	<b>T10R2</b>	27.88
			<b>T4R3</b>	53.41	<b>T10R3</b>	
	<b>Agua de Riego + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T5R1</b>	31.15	<b>T11R1</b>	16.91
			<b>T5R2</b>	35.33	<b>T11R2</b>	26.61
			<b>T5R3</b>	33.42	<b>T11R3</b>	21.76
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T6R1</b>	39.21	<b>T12R1</b>	34.02
			<b>T6R2</b>	45.13	<b>T12R2</b>	34.925
			<b>T6R3</b>	42.17	<b>T12R3</b>	35.83

**Anexo 14: Longitud (cm) final del tallo**

		<b>Campo de Marte</b>		<b>Parque Kennedy</b>		
<b>Altura final de la planta (cm)</b>	<b>Agua desionizada</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T1R1</b>	12.2	<b>T7R1</b>	9.5
			<b>T1R2</b>	9.9	<b>T7R2</b>	9.5
			<b>T1R3</b>	10.2	<b>T7R3</b>	12
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T2R1</b>	10.1	<b>T8R1</b>	8
			<b>T2R2</b>	7.8	<b>T8R2</b>	14
			<b>T2R3</b>	11.4	<b>T8R3</b>	11.1
	<b>Agua desionizada + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T3R1</b>	9.2	<b>T9R1</b>	12.2
			<b>T3R2</b>	8.4	<b>T9R2</b>	9.9
			<b>T3R3</b>	10.9	<b>T9R3</b>	9.5
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T4R1</b>	9	<b>T10R1</b>	11.4
			<b>T4R2</b>	8.9	<b>T10R2</b>	7.4
			<b>T4R3</b>	8.6	<b>T10R3</b>	8.2
	<b>Agua de Riego + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T5R1</b>	10.8	<b>T11R1</b>	12.7
			<b>T5R2</b>	13.6	<b>T11R2</b>	8.5
			<b>T5R3</b>	9.3	<b>T11R3</b>	13.2
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T6R1</b>	10	<b>T12R1</b>	6.8
			<b>T6R2</b>	9.3	<b>T12R2</b>	8.9
			<b>T6R3</b>	11.9	<b>T12R3</b>	11

**Anexo 15: Longitud (cm) final de las inflorescencias**

		Campo de Marte		Parque Kennedy		
<b>Altura final de la planta (cm)</b>	<b>Agua desionizada</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T1R1</b>	18.1	<b>T7R1</b>	22
			<b>T1R2</b>	10.1	<b>T7R2</b>	25.5
			<b>T1R3</b>	14.4	<b>T7R3</b>	19.9
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T2R1</b>	10.3	<b>T8R1</b>	16.8
			<b>T2R2</b>	14.3	<b>T8R2</b>	21.2
			<b>T2R3</b>	16.5	<b>T8R3</b>	19.2
	<b>Agua desionizada + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T3R1</b>	20	<b>T9R1</b>	11
			<b>T3R2</b>	19.5	<b>T9R2</b>	21.7
			<b>T3R3</b>	13.5	<b>T9R3</b>	24.5
		<b>Con Micorrizas</b>	<b>T4R1</b>	11.8	<b>T10R1</b>	19.6
			<b>T4R2</b>	9.7	<b>T10R2</b>	10.1
			<b>T4R3</b>	14.5	<b>T10R3</b>	19.4
<b>Agua de Riego + Pb</b>	<b>Sin Micorrizas</b>	<b>T5R1</b>	19.3	<b>T11R1</b>	18.5	
		<b>T5R2</b>	11.9	<b>T11R2</b>	18.3	
		<b>T5R3</b>	10.4	<b>T11R3</b>	19.9	
	<b>Con Micorrizas</b>	<b>T6R1</b>	17.3	<b>T12R1</b>	8.6	
		<b>T6R2</b>	16.2	<b>T12R2</b>	11	
		<b>T6R3</b>	12.8	<b>T12R3</b>	13.4	

**Anexo 16: Muestreo de comprobación de los tratamientos en suelo del parque  
“Campo de Marte” al final del bioensayo**

				<b>Cantidad de Plomo (ppm)</b>
<b>CAMPO DE MARTE</b>	<b>AGUA DESIONIZADA</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T1R1</b>	213.1
			<b>T1R2</b>	222
			<b>T1R3</b>	219.1
		<b>CON MICORRIZAS</b>	<b>T2R1</b>	213.04
			<b>T2R2</b>	202.07
			<b>T2R3</b>	215.01
	<b>AGUA DESIONIZADA + PLOMO</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T3R1</b>	255.7
			<b>T3R2</b>	250.12
			<b>T3R3</b>	245.39
		<b>CON MICORRIZAS</b>	<b>T4R1</b>	241.73
			<b>T4R2</b>	248.97
			<b>T4R3</b>	244.17
	<b>AGUA DE RIEGO</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T5R1</b>	244.08
			<b>T5R2</b>	241.43
			<b>T5R3</b>	242.755
		<b>CON MICORRIZAS</b>	<b>T6R1</b>	249.84
			<b>T6R2</b>	243.31
			<b>T6R3</b>	246.575

**Anexo 17: Muestreo de comprobación de los tratamientos en suelo del parque “Kennedy” al final del bioensayo**

				<b>Cantidad de Plomo (ppm)</b>
<b>PARQUE KENNEDY</b>	<b>AGUA DESIONIZADA</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T7R1</b>	62.99
			<b>T7R2</b>	62.14
			<b>T7R3</b>	63.45
		<b>CON MICORRIZAS</b>	<b>T8R1</b>	61.14
			<b>T8R2</b>	57.49
			<b>T8R3</b>	75.08
	<b>AGUA DESIONIZADA + PLOMO</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T9R1</b>	64.81
			<b>T9R2</b>	72.66
			<b>T9R3</b>	70.58
		<b>CON MICORRIZAS</b>	<b>T10R1</b>	71.68
			<b>T10R2</b>	72.93
			<b>T10R3</b>	70.38
	<b>AGUA DE RIEGO</b>	<b>SIN MICORRIZAS</b>	<b>T11R1</b>	76.06
			<b>T11R2</b>	75.17
			<b>T11R3</b>	74.33
<b>CON MICORRIZAS</b>		<b>T12R1</b>	64.09	
		<b>T12R2</b>	72.62	
		<b>T12R3</b>	70.76	

## Anexo 18: Análisis factorial de la concentración de plomo (ppm) en las muestras de comprobación

En suelo del parque 'Campo de Marte'

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: PlomoFinal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4316,863 <sup>a</sup>	5	863,373	42,519	,000
Intersección	997997,211	1	997997,211	49149,168	,000
Micorriza	46,593	1	46,593	2,295	,156
Agua	4153,834	2	2076,917	102,284	,050
Micorriza * Agua	116,436	2	58,218	2,867	,096
Error	243,666	12	20,305		
Total	1002557,739	18			
Total corregido	4560,529	17			

a. R al cuadrado = ,947 (R al cuadrado ajustada = ,924)

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pb	.135	18	,200 <sup>*</sup>	.955	18	.504

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

### Prueba de homogeneidad de varianzas

Pb

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2.301	2	15	.134



En suelo del parque 'Kennedy'

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Plomo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	310,483 <sup>a</sup>	5	62,097	2,997	,055
Intersección	85196,416	1	85196,416	4112,441	,000
Micorriza	3,415	1	3,415	,165	,692
Agua	240,828	2	120,414	5,812	,057
Micorriza * Agua	66,239	2	33,120	1,599	,242
Error	248,601	12	20,717		
Total	85755,500	18			
Total corregido	559,084	17			

a. R al cuadrado = ,555 (R al cuadrado ajustada = ,370)

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pb	.220	18	.022	.905	18	.069

a. Corrección de significación de Lilliefors

### Prueba de homogeneidad de varianzas

Pb

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
.532	2	15	.598

**Anexo 19: Prueba T de Student de una muestra para comparar concentraciones iniciales y finales de plomo (ppm) en suelo del parque Kennedy**

Para tratamientos con agua desionizada

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	63,7150	5,96022	2,43325

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 71.6					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	-3,241	5	,023	-7,88500	-14,1399	-1,6301

Para tratamientos con agua desionizada +Pb

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	70,5067	2,97857	1,21600

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 71.6					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	-,899	5	,410	-1,09333	-4,2192	2,0325

Para tratamientos con agua de riego de Huachipa+Pb

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	72,1717	4,38804	1,79141

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 71.6					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	,319	5	,763	,57167	-4,0333	5,1766

**Anexo 20: Prueba T de Student para comparar concentraciones iniciales y finales de plomo (ppm) en suelo del parque Campo de Marte**

Para tratamientos con agua desionizada

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	214,0533	6,85667	2,79922

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 200.86					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	4,713	5	,005	13,19333	5,9977	20,3890

Para tratamientos con agua desionizada+Pb

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	247,6800	4,99810	2,04046

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 200.86					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	22,946	5	,000	46,82000	41,5748	52,0652

Para tratamientos con agua de riego de Huachipa+Pb

**Estadísticas de muestra única**

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PlomoFinal	6	244,6650	3,05681	1,24794

**Prueba de muestra única**

	Valor de prueba = 200.86					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
PlomoFinal	35,102	5	,000	43,80500	40,5971	47,0129

## Anexo 21: Cantidad de plomo extraído (ppm) de cada unidad experimental

En el suelo del parque “Campo de Marte”

Tratamiento	Agua	Micorriza (gr/kg)	Plomo (ppm) al inicio del bioensayo	Plomo (ppm) al final del bioensayo	Diferencia
<b>T1R1</b>	Desionizada	0	200.86	213.1	-12.24
<b>T1R2</b>	Desionizada	0.5	200.86	222	-21.14
<b>T1R3</b>	Desionizada	0	200.86	219.1	-18.24
<b>T2R1</b>	Desionizada	0.5	200.86	213.04	-12.18
<b>T2R2</b>	Desionizada	0	200.86	202.07	-1.21
<b>T2R3</b>	Desionizada	0.5	200.86	215.01	-14.15
<b>T3R1</b>	Desionizada+Pb	0	200.86	255.7	-54.84
<b>T3R2</b>	Desionizada+Pb	0.5	200.86	250.12	-49.26
<b>T3R3</b>	Desionizada+Pb	0	200.86	245.39	-44.53
<b>T4R1</b>	Desionizada+Pb	0.5	200.86	241.73	-40.87
<b>T4R2</b>	Desionizada+Pb	0	200.86	248.97	-48.11
<b>T4R3</b>	Desionizada+Pb	0.5	200.86	244.17	-43.31
<b>T5R1</b>	Huachipa+Pb	0	200.86	244.08	-43.22
<b>T5R2</b>	Huachipa+Pb	0.5	200.86	241.43	-40.57
<b>T5R3</b>	Huachipa+Pb	0	200.86	242.755	-41.895
<b>T6R1</b>	Huachipa+Pb	0.5	200.86	249.84	-48.98
<b>T6R2</b>	Huachipa+Pb	0	200.86	243.31	-42.45
<b>T6R3</b>	Huachipa+Pb	0.5	200.86	246.575	-45.715

En el suelo del parque “Kennedy”

<b>Tratamiento</b>	<b>Agua</b>	<b>Micorriza (gr/kg)</b>	<b>Plomo (ppm) al inicio del bioensayo</b>	<b>Plomo (ppm) al final del bioensayo</b>	<b>Diferencia</b>
<b>T7R1</b>	Desionizada	0	71.6	62.99	8.61
<b>T7R2</b>	Desionizada	0.5	71.6	62.14	9.46
<b>T7R3</b>	Desionizada	0	71.6	63.45	8.15
<b>T8R1</b>	Desionizada	0.5	71.6	61.14	10.46
<b>T8R2</b>	Desionizada	0	71.6	57.49	14.11
<b>T8R3</b>	Desionizada	0.5	71.6	75.08	-3.48
<b>T9R1</b>	Desionizada+Pb	0	71.6	64.81	6.79
<b>T9R2</b>	Desionizada+Pb	0.5	71.6	72.66	-1.06
<b>T9R3</b>	Desionizada+Pb	0	71.6	70.58	1.02
<b>T10R1</b>	Desionizada+Pb	0.5	71.6	71.68	-0.08
<b>T10R2</b>	Desionizada+Pb	0	71.6	72.93	-1.33
<b>T10R3</b>	Desionizada+Pb	0.5	71.6	70.38	1.22
<b>T11R1</b>	Huachipa+Pb	0	71.6	76.06	-4.46
<b>T11R2</b>	Huachipa+Pb	0.5	71.6	75.17	-3.57
<b>T11R3</b>	Huachipa+Pb	0	71.6	74.33	-2.73
<b>T12R1</b>	Huachipa+Pb	0.5	71.6	64.09	7.51
<b>T12R2</b>	Huachipa+Pb	0	71.6	72.62	-1.02
<b>T12R3</b>	Huachipa+Pb	0.5	71.6	70.76	0.84

## Anexo 22: Análisis del agua de riego de Huachipa usada en el bioensayo

---

pH		7.41
C.E.	dS/m	0.67
Ca	meq/L	4.87
Mg	meq/L	0.56
K	meq/L	0.14
Na	meq/L	1.25
Suma de cationes		6.82
Nitratos	meq/L	0.01
Carbonatos	meq/L	0
Bicarbonatos	meq/L	2.95
Sulfatos	meq/L	1.29
Cloratos	meq/L	2.5
Suma de aniones		6.75
Na	%	18.34
RAS		0.76
B	ppm	0.24
Clasificación		C2-S1
Cu	ppm	0.001
Zn	ppm	0.078
Mn	ppm	0.002
Fe	ppm	0.001
Pb	ppm	0.035
Cd	ppm	0.029
Cr	ppm	0

---